



Universidade Federal do Rio Grande
Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica

POTENCIAL DE RETENÇÃO DOS
SEDIMENTOS DE DRAGAGEM DO
PORTO DE RIO GRANDE, UTILIZANDO
SISTEMAS DE CONFINAMENTO DE
RESÍDUOS (SCR)

Dissertação de:
Mélory Maria Fernandes de Araujo

Orientador:
Prof., Dr. Diego de Freitas Fagundes

Agosto de 2021

**“POTENCIAL DE RETENÇÃO DOS SEDIMENTOS DE DRAGAGEM DO PORTO DE RIO
GRANDE UTILIZANDO SISTEMAS DE CONFINAMENTO DE RESÍDUOS (SCR)”**

Mélory Maria Fernandes de Araujo

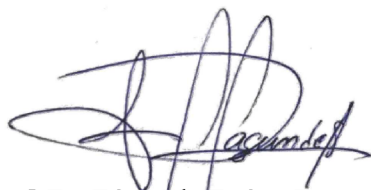
Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de:

MESTRE EM ENGENHARIA OCEÂNICA

Tendo sido aprovada em sua forma final pela Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica

Prof. Dr. Liércio André Isoldi
Coordenador do PPGEO/FURG

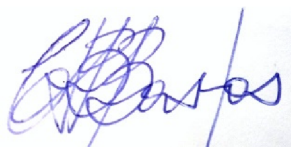
Banca Examinadora:



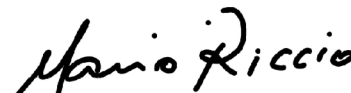
Prof. Dr. Diego de Freitas Fagundes
Orientador – PPGEO/FURG



Prof. Dr. Mauro de Vasconcellos Real
Membro Interno – PPGEO/FURG



Prof. Dr. Cezar Augusto Burkert Bastos
Membro Externo – EE/FURG



Prof. Dr. Mario Vicente Riccio Filho
Membro externo– UFJF

N471m Araujo, Mélorly.

Modelo de Dissertação do PPGeo / Mélorly Maria Fernandes de Araujo – 2021.

145 f.

Dissertação: Potencial De Retenção Dos Sedimentos De Dragagem Do Porto De Rio Grande, Utilizando Sistemas Confinamento De Resíduos (SCR) (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Rio Grande/RS, 2021.

Orientador: Dr. Diego de Freitas Fagundes.

1. Sedimentos; 2. Dragagem; 3. Caracterização geotécnica; 4. Geotêxtil;
5. SCR

CDU 620.91

Catálogo na Fonte: Bibliotecário João da Silva CRB 12/3456

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-
vos
de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do
que parecia impossível.
(CHARLES CHAPLIN)

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a minha família, pelo apoio e incentivo ao longo de todo o curso. Assim como aos meus amigos que fizeram grande diferença ao longo dos últimos anos pelo companheirismo, força e motivação.

Ao meu orientador Prof., Dr. Diego de Freitas Fagundes pela orientação no desenvolvimento desta dissertação. Bem como aos alunos de iniciação científica que me acompanharam ao longo de todos os ensaios experimentais, Arthur Terra, Daniel Gauterio, José Andrei e Juliana Pauletto.

Agradeço também ao Eng. MSC. Matheus Muller, por todo apoio técnico, científico e por sempre se mostrar disponível quando necessário.

Agradeço a toda equipe técnica do Laboratório de Geotecnia e Concreto Prof. Cláudio R. R. Dias pela ajuda na execução da maioria dos ensaios. Ao técnico Luciano da Silva e ao colega Saymon Porto pelo suporte e colaboração durante todo o mestrado.

Agradeço à equipe da empresa Huesker pelo material geotêxtil cedido para o estudo, e a equipe da Kerima Company pelo fornecimento dos polímeros analisados.

Agradeço também o apoio do Comando do 5º Distrito Naval da Marinha do Brasil e a Superintendência do Porto de Rio Grande pelo fornecimento e transporte do sedimento dragado.

Agradeço a Coordenação de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), pelo financiamento do presente trabalho.

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande (FURG) por todo suporte durante o desenvolvimento da dissertação.

Resumo

Mélory Maria Fernandes de Araujo

POTENCIAL DE RETENÇÃO DOS SEDIMENTOS DE DRAGAGEM DO PORTO DE RIO GRANDE, UTILIZANDO SISTEMAS CONFINAMENTO DE RESÍDUOS (SCR)

A cidade de Rio Grande, localizada no extremo sul do Brasil, conta com um complexo portuário de extrema potência econômica. O canal de acesso contou com diversas operações de dragagens de forma sazonal ao longo de sua história. Nas últimas operações de dragagem de manutenção realizadas em 2019, foram realizadas a retirada de aproximadamente 16 milhões de metros cúbicos de sedimentos depositados no canal de acesso do Porto. Essas operações realizadas visaram 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. O presente estudo visa avaliar o potencial da utilização da técnica de retenção de material dragado em sistemas geotêxteis fechados (Geobags) visando a desidratação dos sedimentos dragados, e o despejo dos rejeitos em terra. O estudo de alternativas para a disposição e reutilização de sedimentos dragados é uma busca constante tentando minimizar os impactos ambientais e evitar lançamentos inadequados em alto mar ou em terra. A utilização de bolsas em geotêxtil promovem o desaguamento e disposição controlada de sedimentos. O processo acontece através da separação entre os sólidos e água, tendo o geotêxtil como meio filtrante. Neste contexto, o presente trabalho busca analisar o comportamento dos sedimentos dragados nas operações de dragagem de manutenção no canal de acesso do Porto de Rio Grande, durante o ano de 2019, observando o ciclo de desidratação e a resistência dos sedimentos dragados, de forma a promover a reutilização desse rejeito. Os sedimentos foram classificados como solo “SC”, por meio do SUCS, enquadrados como argila arenosa e através da HRB, o solo foi classificado como solo A-7-6 (4). Foram testados 10 polímeros de forma a avaliar, a dosagem ótima para a melhor floculação com o sedimento. Foram realizados os ensaios de desaguamento rápido (RDT), em bolsas de pequenas dimensões, microscopia de varredura eletrônica (MEV), difração de raio x (DRX) e resistência não drenada. O teste de desaguamento e a verificação de eficiência de deságue são essenciais para a escolha apropriada do sistema. Após todos os resultados das eficiências e de caracterização do material, é possível indicar o geotêxtil que com polimerização seria mais eficaz para o desaguamento do sedimento estudado.

Palavras-chave: sedimentos, dragagem, caracterização geotécnica, geotêxteis.

Abstract

Mélory Maria Fernandes de Araujo

RETENTION POTENTIAL OF DREDGING SEDIMENTS IN THE PORT OF RIO GRANDE USING WASTE CONTAINMENT (SCR) SYSTEMS

The city of Rio Grande, located in the extreme south of Brazil, has a port complex of extreme economic power. The access channel had several seasonal dredging operations throughout its history. In the last maintenance dredging operations carried out in 2019, approximately 16 million cubic meters of sediment deposited in the port's access channel were removed. These operations aimed at increasing the draft from 12.8 m to 14 m, expanding the port's capacity to receive ships of up to 365 m in length. The present study aims to evaluate the potential of using the dredged material retention technique in closed geotextile systems (Geobags) aiming at the dehydration of the dredged sediments, and the disposal of tailings on land. The study of alternatives for the disposal and reuse of dredged sediments is a constant search, trying to minimize environmental impacts and avoid inappropriate discharges on the high seas or on land. The use of geotextile bags promotes the dewatering and controlled disposal of sediments. The process takes place through the separation between solids and water, using the geotextile as a filtering medium. In this context, the present work seeks to analyze the behavior of the dredged sediments in the maintenance dredging operations in the access channel of the Port of Rio Grande, during the year 2019, observing the dehydration cycle and the resistance of the dredged sediments, of form a promotes the reuse of this waste. The sediments were classified as "SC" soil, through the SUCS, classified as sandy clay and through the HRB, the soil was classified as A-7-6 soil (4). Ten polymers were tested in order to evaluate the optimal dosage for the best flocculation with the sediment. Rapid dewatering (RDT), in small bags, scanning electron microscopy (SEM), x-ray diffraction (DRX) and undrained resistance tests were carried out. Dewatering testing and verifying dewatering efficiency are essential for proper system selection. After all the results of the efficiencies and characterization of the material, it is possible to indicate the geotextile that with polymerization would be more effective for dewatering the studied sediment.

Palavras-chave: sediments, dredging, geotechnical characterization, geotextiles.

Sumário

	Página
Lista de Figuras	XI
Lista de Tabelas	XVI
Lista de Símbolos	XVIII
Lista de Siglas	XIX
1 Introdução	1
1.1 Relevância e justificativa _____	1
1.2. Objetivos _____	2
1.3. Estrutura da dissertação _____	3
2 Revisão Bibliográfica	4
2.1 Dragagem conceitos e objetivos _____	4
2.2. Tipos de Dragagem _____	5
2.2.1. Dragagem de aprofundamento ou de implantação _____	5
2.2.2. Dragagem de manutenção _____	5
2.2.3. Dragagem de remediação ou ambiental _____	6
2.2.4. Dragagem de mineração _____	6
2.3. Equipamentos de Dragagem _____	7
2.3.1. Equipamentos Mecânicos _____	8
2.3.2. Equipamentos Hidráulicos _____	13
2.3.3. Equipamentos Pneumáticos _____	15
2.4. Transporte do sedimento dragado _____	16
2.5. Alternativas de disposição do sedimento dragado _____	16
2.5.1. Disposição em corpos hídricos abertos _____	18
2.5.2. Disposição em locais confinado ou em meio terrestre _____	20
2.5.3. Tratamento _____	20
2.5.4. Uso benefício _____	22
2.6. Gestão do material dragado _____	23
2.7. Proteção Costeira _____	24
2.8. Utilização de sedimentos dragados para construção _____	26
2.9. Utilização de sedimentos dragados para agricultura e outros _____	26
2.10. Utilização de sedimentos dragados usando geossintéticos _____	27

2.11. Geossintéticos	28
2.11.1. Características dos Geossintéticos	29
2.12. Tubos Geotêxteis	33
2.13. Bolsas Geotêxtil	33
2.14. Container Geotêxtil	34
2.15. Sistema de Confinamento de Resíduos (SCR)	34
2.16. Propriedades de geotêxtil e do material de enchimento	36
2.17. Condicionamento do sedimento com polímero	37
2.18. Índices de avaliação de desempenho do sistema	39
3 Descrição da região do estudo	41
3.1 Localização	41
3.2 Hidrodinâmica do estuário	42
3.3 O porto de Rio Grande	43
3.4 Histórico de Dragagem no Porto	43
3.5 Características Geotécnicas do sedimento	45
3.5.1 Processos deposicionais	45
3.5.2 Geologia do sedimento	47
4 Materiais e métodos	50
4.1. Coleta e Preservação da amostra	50
4.2. Índices Físicos	52
4.3. Análise Granulométrica	56
4.3.1. Ensaio de peneiramento	56
4.3.2. Ensaio de sedimentação	56
4.3.3. Método da pipeta	58
4.3.4. Curva de distribuição granulométrica	61
4.3.5. Granulometria a laser	62
4.4. Material Geotêxtil utilizado	63
4.5. Seleção do Polímero e dosagem ótima	64
4.6. Ensaio de Desaguamento Rápido	65
4.7. Determinação da vazão de solução polimérica no (SCR)	67
4.8. Ensaio em bolsa de pequena dimensão	67
4.9. Ensaios de Cone de queda	69
4.10. Ensaio de palheta de laboratório	70
4.11. Ensaio de Difração de Raio X – DRX	72
4.12. Microscopia de varredura eletrônica (MEV)	72
5 Resultados	75
5.1 Caracterização do sedimento	75

	X
5.2 Seleção da dosagem e do polímero _____	83
5.3 Teste de desaguamento Rápido _____	86
5.4 Teste de desaguamento em bolsa de pequena dimensão _____	92
5.8. Resistência não drenada do solo retido _____	102
5.9. Difração de Raio X – DRX _____	104
5.9. Microscopia de varredura eletrônica _____	110
6 Conclusão	114
Referências	117

Lista de Figuras

Página

2- Revisão Bibliográfica

Figura 2: Caçambas de Mandíbulas (<i>grad dredges</i>)	8
Figura 2.1: Escavadeiras frontais ou retroescavadeiras	10
Figura 2.2: Dragas de arrasto (Dragline)	11
Figura 2.3: Perfil esquemático da draga de alcatruzes	12
Figura 2.4: Dragas de Sucção e Recalque com Desagregador (SR)	13
Figura 2.5: Equipamentos Hidráulicos 1 Dragas de Arrasto Autotransportadoras	14
Figura 2.6: Esquema operacional de uma draga pneumática	15
Figura 2.7: Alternativas de disposição do material de dragagem	17
Figura 2.8: Alternativas de disposição em corpos hídricos abertos	18
Figura 2.9: Possibilidades de uso do material dragado	22
Figura 2.10: Quadro de Avaliação de Material Dragado	23
Figura 2.11: Geotêxtil tecido	31
Figura 2.12: Geotêxtil não tecido	31
Figura 2.13: Geotêxtil tricotado	32
Figura 2.14: Ciclos de deságue em um SCR internamente	35
Figura 2.15: Diminuição de volume e aumento na concentração de sólidos	36
Figura 2.16: Esquema de condicionamento da lama	38

3 • Descrição da Área de estudo

Figura 3: Local de estudos _____	41
Figura 3.1: Fisiografia e principais estruturas da Bacia de Pelotas e área continental adjacente _____	42
Figura 3.2: Zona Portuária _____	43
Figura 3.3: Perfil esquemático (W-E) transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul _____	46
Figura 3.4: Mapa Faciológico da Bacia de Pelotas _____	46
Figura 3.5: Distribuição dos sedimentos superficiais de fundo segundo tamanho de grão (Phi) _____	47
Figura 3.6: Zoneamento hidrodinâmico e identificação das faces sedimentares na região da desembocadura da Lagoa dos Patos _____	48
Figura 3.7: Testemunhos coletados ao longo do Canal Interno do Porto do Rio Grande _____	49
Figura 3.8: Mapa de localização dos testemunhos apresentados no Relatório de Sondagem Geológica, Geoquímica e Geotécnica (2000) _____	49
 4- Materiais e métodos	
Figura 4: Fluxograma das etapas da pesquisa _____	50
Figura 4.1: Pontos coleta de dragagem _____	51
Figura 4.2: Draga utilizada para retirada dos sedimentos _____	51
Figura 4.3: Transporte dos sedimentos _____	52
Figura 4.4: Preservação da amostra _____	52
Figura 4.5: Aparelho de Casagrande _____	53
Figura 4.6: Amostra para matéria orgânica _____	56
Figura 4.7: Ilustração do ensaio de sedimentação _____	58
Figura 4.8: Amostra após ser lavada com água corrente _____	59
Figura 4.9: Passagem do material nas peneiras _____	60
Figura 4.10: Método da Pipeta _____	61

Figura 4.11: Becker para coleta do material	62
Figura 4.12: Granulômetro a laser	64
Figura 4.13: Esquema de funcionamento de granulômetro a laser	64
Figura 4.14: Ensaio RDT	66
Figura 4.15: Ensaio com bolsa fechada de pequenas dimensões	69
Figura 4.16: Ensaio cone de queda	71
Figura 4.17: Ensaio de palheta de laboratório	72
Figura 4.18: Difratorômetro de Raios X	73
Figura 4.19: Preparo da amostra para o procedimento do MEV	74
Figura 4.20: Amostra sendo banhada com ouro	74
Figura 4.21: Microscópio Eletrônico de Varredura	75

5- Resultados

Figura 5: Curva granulométrica com defloculante	77
Figura 5.1: Ensaio de sedimentação	78
Figura 5.2: Curva granulométrica com água salgada	79
Figura 5.3: Curvas de granulometria com água salgada e com defloculante	80
Figura 5.4: Curva da distribuição granulométrica da amostra pelo método da pipetagem	81
Figura 5.5: Classificação do sedimento com o diagrama de Shepard	81
Figura 5.6: Comportamento da amostra	82
Figura 5.7: Comportamento da fração retida pelo granulômetro	82
Figura 5.8: Classificação pelo o diagrama de Shepard – Granulômetro a laser	83
Figura 5.9: Ensaio Limites	83
Figura 5.10: Variação entre intensidade de agitação da mistura	85

Figura 5.11 - Soluções de sedimentos com diferentes polímeros	86
Figura 5.12: Mistura entre solo e polímero	87
Figura 5.13: Ensaio de desaguamento	88
Figura 5.14: Eficiência do sistema	90
Figura 5.15: Curva mássica	91
Figura 5.16: Perda de partículas	92
Figura 5.17: Efluente percolado durante ensaio de desaguamento	93
Figura 5.18: Teste de desaguamento em bolsa de pequena dimensão	94
Figura 5.19- Preparo do sedimento para o ensaio	95
Figura 5.20: Procedimento de enchimento do ensaio BAG1 sem adição de polímero	95
Figura 5.21: Amostra retida ensaio BAG1 sem a adição de polímero	96
Figura 5.22: Ensaio BAG2 com um único ciclo de enchimento	97
Figura 5.23: Amostra com polímero retida no BAG2	97
Figura 5.24: Ciclos de enchimento BAG3	98
Figura 5.25: Efluente desaguado após o último ciclo de enchimento	99
Figura 5.26: Textura do sedimento retido após os três ciclos de enchimento com polímero	99
Figura 5.27: Curva de Secagem	100
Figura 5.28: Curva mássica	101
Figura 5.29: Representação de os pontos onde foram realizados os ensaios	103
Figura 5.30: Resultados cone de queda e palheta de laboratório	104
Figura 5.31: Difratoograma de Raio x	105
Figura 5.32: Elementos presentes na amostra original	106

Figura 5.33 – Elementos presente na amostra de solo com polímero nos ensaios de DRX_____	109
Figura 5.34 – Pico de maior incidência no difratograma e seus componentes químicos no ensaio DRX_____	110
Figura 5.35 - Microscopia de varredura da amostra original do tanque____	111
Figura 5.36 - Microscopia de varredura da amostra com polímero retida no bag_____	112
Figura 5.37 - Comparação entre amostra original e amostra com polímero_____	113
Figura 5.38 - Comparação entre amostra de areia e argila presentes na amostra retida no bag sem polímero_____	114

Lista de Tabelas

Página

2. Revisão Bibliográfica

Tabela 2: Equipamentos de dragagens mais usuais_____	7
Tabela 2.1: Caçamba de Mandíbulas (<i>Grab dredges</i>): Vantagens e desvantagens_____	9
Tabela 2.2: Escavadeiras frontais (<i>Dipper dredges</i>) ou retroescavadeiras (<i>Hoes</i>): Vantagens e desvantagens_____	10
Tabela 2.3: Pá de arrasto (<i>draglines</i>): Vantagens e desvantagens_____	11
Tabela 2.4: Alcatruzes (<i>Bucket dredge</i>): Vantagens e desvantagens_____	12
Tabela 2.5: Dragas ATs e volumes das cisternas_____	15
Tabela 2.6: Maneiras de transporte de sedimentos dragados_____	16
Tabela 2.7: Opções de localização offshore indicadas para disposição em corpos hídricos_____	19
Tabela 2.8: Principais tipos de tratamentos_____	21
Tabela 2.9: Comparação entre as Resoluções CONAMA sobre material dragado_____	24
Tabela 2.10: Formas de utilizar o material dragado para proteção costeira_____	25
Tabela 2.11: Geossintéticos e suas principais funções_____	29
Tabela 2.12: Descrição da classificação dos geossintéticos_____	30
Tabela 2.13: Classificação de geotêxtil em sistema fechado em relação a suas dimensões_____	32

3. Descrição da Área de estudo

Tabela 3: Histórico de Dragagem do Porto de Rio Grande _____	44
---	----

4. Materiais e métodos

Tabela 4: Classificação dos solos de acordo com índice de plasticidade segundo Jen-kins._____54

Tabela4.1: Classificação dos solos de acordo com o índice de atividade coloida_____54

Tabela 4.2: Tabela de referência para o processo de pipetagem_____62

Tabela 4.3: Características dos Geotêxteis_____64

Tabela 4.4: Características dos polímeros_____65

Tabela 4.5: Constante de calibração das molas_____72

5. Resultados

Tabela 5: Limites de Atterberg, índice de plasticidade e índice de atividade coloidal_____83

Tabela 5.1: Dosagem ótima de cada polímeros_____84

Tabela 5.2: Eficiências do Sistema com o ensaio de desaguamento rápido_88

Tabela 5.3: Eficiências do sistema_____100

Tabela 5.4: Análise quantitativa da intensidade e frequência dos elementos na amostra original em função do ângulo_____106

Tabela 5.5: Análise quantitativa da intensidade e frequência dos elementos na amostra com polímero em função do ângulo_____108

Lista de Símbolos

ED	Eficiência de Deságue
EF	Eficiência de Filtração
EP	Eficiência do polímero
Ia	Índice de atividade coloidal
Ip	Índice de plasticidade
k	Coefficiente de permeabilidade
Kmv	Constante ensaio cone de queda
LC	Limite de Contração
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
MO	Matéria orgânica
mv	Coefficiente de variação volumétrica
PP	Partículas Passantes
Q	Peso do cone
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
Su	Resistência não drenada dos solos
V	Volume
w	Teor de umidade
W	Peso
Ws	Peso de sólidos
Ww	Peso de água
θ_f	Máximo ângulo de torção da mola
σ'_{vm}	Tensão de pré-adensamento
σ'_{vo}	Tensão efetiva vertical n
γ_d	Peso específico aparente seco
γ_s	Peso específico real dos grãos
γ_w	Peso específico da água

Lista de Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CDFs	Confined Placement (disposal) Facilities
CEDA	Central Dredging Association
CEME-SUL	Centro de Microscopia Eletrônica da Zona Sul
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DMAF	Dredged Material Assessment Framework
DRX	Difração de Raio X
FURG	Universidade Federal do Rio Grande - FURG
FTC	Fôrmas Texteis Cúbicas
FWHM	Full width at half maximum
GRI	Geosynthetic Research Institute
GSC	Geotextile Sand Container
IADC	International Association of Dredging Companies
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e estatística
IGS	International Geosynthetics Society
LEC	Laboratório de Engenharia Costeira
LOG	Laboratório de Oceanografia Geológica
MEV	Microscopia de Varredura Eletrônica
NBR	Norma Brasileira
PIANC	Permanent International Association of Navigation Congresses
PPGEO	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica
RDT	Teste de Desaguamento Rápido
SCR	Sistemas de Confinamento de Resíduos
SUCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos
SUPRG	Superintendência do Porto do Rio Grande

1 | Introdução

1.1 Relevância e justificativa

O termo dragagem é, por definição, a escavação ou remoção de solo ou rochas do fundo de rios, lagos, e outros corpos d'água através de equipamentos denominados de dragas, as quais são, geralmente, embarcações ou plataformas flutuantes equipadas com mecanismos necessários para se efetuar a remoção do solo (TORRES, 2000 apud Compton's Encyclopedia, 1998). Segundo Goes Filho (2004) durante séculos, os resíduos retirados de dragagem foram dispostos de forma totalmente aleatória, em locais onde, muitas vezes, prejudicavam seriamente o meio ambiente.

Após a Conferência de Estocolmo em 1972 deu-se início a estudos e pesquisas que buscavam técnicas de disposição e tratamento do material dragado, visto que esses sedimentos retirados podem causar efeitos sociais, econômicos e ambientais. A questão de navegação em canais, rios e portos possui um papel importante em questões econômicas mundialmente. Sendo assim, 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.

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. A técnica mais utilizada era a disposição em mar aberto, nas chamadas de áreas de bota-fora. Esse processo pode causar diversos impactos no meio ambiente, por induzem frequentemente mudanças nas condições do próprio local, podendo, por exemplo, interferir nas suas condições de sedimentação. Nesse contexto é importante o conhecimento das características do sedimento retirado de modo a pensar qual é o melhor destino para o material dragado.

Uma alternativa é a utilização de bolsas em geotêxtil (geoformas têxteis, geocontêineres, geobags, entre outros) que promovem o desaguamento e disposição controlada de sedimentos. O processo de desaguamento acontece através da separação entre os sólidos e água, tendo o geotêxtil como meio filtrante. Servindo para melhorar a qualidade do resíduo, diminuir seu tempo de secagem e reduzir os riscos de impacto ambiental. A técnica consiste em eliminar o excesso de água do resíduo, através da drenagem do líquido pelos pequenos poros do geotêxtil, ocorrendo desaguamento progressivo e redução do volume original. (FOWLER et al., 1997; MOO-YOUNG et al., 2002; MUTHUKUMARAN e ILAMPARUTHI, 2006).

Para Silva (2019) o método de desaguamento em sistemas pressurizados em geotêxtil consiste em utilizar bolsas ou tubos de geotêxteis, com capacidade de encapsular e reter grande parte da fração sólida do resíduo. O uso de sistema geotêxtil fechado (tubos e bolsas) teve início na década de 1970, com o propósito inicialmente estrutural em obras costeiras e a partir da década de 1980 começa a ser utilizado para contenção de sedimentos dragados (PIEPER, 2008).

Práticas de tratamento ou uso do material dragado, como a destinação confinada, têm sido documentadas na região dos grandes lagos entre EUA e Canadá, cujos trabalhos são conduzidos e/ou acompanhados pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano. No Brasil, as diretrizes e procedimentos de referência para o gerenciamento do material a ser dragado são estabelecidas na resolução 454/12 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente).

Palma (2016) afirma que dentre as várias vantagens na utilização do material geotêxtil é reduzir os impactos ambientais, por permitirem a utilização de solos que de outra forma. Segundo Silva (2019) trata-se de uma alternativa vantajosa, pois torna viável a redução de volume, facilitando o manuseio, transporte e disposição final dos sólidos ou sua reutilização.

Com esta técnica de confinamento do material dragado, o destino dos sedimentos pode ganhar novos rumos e auxiliar na construção de estruturas para proteção costeira como aterros, molhes e quebra-mares. Segundo Goes Filho (2004) as reutilizações benéficas de material dragado apresentam efeitos positivos, no cômputo geral dos projetos. Neste contexto, o presente trabalho busca analisar o comportamento dos sedimentos dragados nas operações de dragagem de manutenção no canal de acesso do Porto de Rio Grande, realizada durante o ano de 2019, através da técnica de confinamento em sistemas de resíduos (SCR), observando o ciclo de desidratação e a resistência dos sedimentos dragados, permitindo assim a reutilização do material.

1.2. Objetivos

Os objetivos desta pesquisa são divididos em objetivo geral e objetivos específicos. Sendo o objetivo geral analisar o comportamento dos sedimentos retirados na dragagem de manutenção do porto de Rio Grande, quando confinados em um sistema de confinamento de resíduos (SCR), permitindo assim a reutilização do material futuramente. Tendo como objetivos específicos da pesquisa:

- Determinar características geotécnicas dos sedimentos dragados do canal de acesso do porto de Rio Grande;
- Analisar o comportamento e vantagens do uso de polímeros, no processo de desaguamento do sedimento;

- Selecionar o geotêxtil mais apropriado ao condicionamento do sedimento;
- Comparar a eficiência dos polímeros utilizados para desaguamento;
- Estudar o processo de desaguamento do sedimento de dragagem em sistema geotêxtil fechado experimental em bolsas de pequenas dimensões;
- Examinar propriedades geotécnicas da torta retida no sistema geotêxtil fechado experimental.

1.3. Estrutura da dissertação

Este trabalho encontra-se dividido em seis capítulos, sendo eles: Introdução, Revisão Bibliográfica, Descrição da Região do Estudo, Materiais e Métodos, Resultados e Conclusão.

O capítulo 2, apresenta a revisão bibliográfica e fundamentação teórica em que foi embasada esta pesquisa. Abordando os conceitos teóricos e práticos de dragagem, bem como normas para destinação do sedimento dragado, histórico de dragagem no porto de Rio Grande. São descritos em tópicos os tipos de Geossintéticos e aplicações, assim como o método de disposição em sistemas de confinamento de resíduos (SCR), seu dimensionamento e índices de avaliação de desempenho do sistema.

O capítulo 3 descreve a região do estudo, assim como, características que possam influenciar no transporte e origem dos sedimentos estudados. O capítulo apresenta as características do sedimento, através de sua origem geológica e granulometria. Assim como os ensaios de laboratório utilizados, os materiais e métodos, bem como os procedimentos de análise preliminar dos dados.

O capítulo 5 apresenta a expõe e discute os resultados obtidos através dos ensaios apresentados no capítulo 4. Apresenta as características granulométricas do sedimento de dragagem, indicando as proporções dos materiais, o estudo da dosagem de polímeros para melhor floculação e desaguamento, bem como os parâmetros de dimensionamento para a mistura do sedimento com a solução polimérica. A análise da eficiência do sistema de confinamento de resíduos (SCR).

O capítulo 6 é o último o qual se refere as conclusões obtidas, apresenta uma síntese geral das considerações mais relevantes. Propõem-se ainda algumas sugestões para trabalhos futuros que podem vir a ser aprofundadas para dar continuidade a este estudo e a esta temática. São apresentadas ao final as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento deste estudo.

2 | Revisão Bibliográfica

2.1 Dragagem conceitos e objetivos

Dragagem é a retirada de sedimentos em diferentes profundidades de mares, rios e estuários, transportando e dispondo-os em outros locais (ALFREDINI & ARASAKI, 2013). De acordo com a ANTAQ (2010), dragagem é a obra de engenharia que objetiva garantir o acesso ao porto pelas embarcações através da remoção de sedimentos que se encontram no fundo do corpo d'água. No Brasil, a Lei nº 12.815 de 05 de junho de 2013, classifica a atividade de dragagem como obra de engenharia, e draga como equipamento especializado acoplado à embarcação ou à plataforma fixa, móvel ou flutuante.

A Associação Internacional de Companhias de Dragagem (IADC - International Association of Dredging Companies) esclarece na publicação IADC (2010) que a atividade de dragagem pode ser realizada por diversas razões, como por exemplo, alargar a faixa de areia de praia com enchimento para a proteção e reposição de praias para recreação, bem como para a construção de dunas de proteção e ilhas artificiais, inclusive com formação de habitats para pássaros e outras formas de vida selvagem e a realização desta atividade em regiões portuárias tem como objetivo principal a viabilização da navegação. Conforme Fadda e Vianna Jr (2006), as principais justificativas para realização de dragagens em áreas portuárias são: (i) o assoreamento progressivo do porto; (ii) o crescimento da movimentação de cargas juntamente com o aumento da economia de escala do porto ou terminal; (iii) o aumento do porte e dimensões dos navios; e (iv) manutenção da segurança da navegação. Palermo et al. (2008) acrescenta como objetivo a limpeza de ambientes contaminados.

Para realização deste processo é imprescindível a elaboração de um planejamento preciso, que através de projetos de dragagem, possa oferecer o melhor método a ser aplicado, o destino final do material dragado e a escolha adequada dos equipamentos para o serviço, tendo influência direta nos custos de operação, que por serem elevados, necessitam cautela em sua avaliação (FADDA, 2012). Portanto, compreende-se como material dragado aquele que é retirado ou deslocado do leito dos corpos d'água pela atividade de dragagem, desde que não constitua bem mineral (CONAMA, 2004).

Os conflitos ambientais por dragagem portuária relacionam-se com o nível de contaminação dos sedimentos dragados e com o local selecionado para o despejo, que podem gerar danos à biota aquática, com reflexos sobre a qualidade de vida de atores regionais que, embora vivam num ambiente comum, possuem interesses antagônicos (THEODORO, 2005). Segundo Santos (2018), a etapa de transporte dos sedimentos dragados compreende o deslocamento vertical e/ou horizontal do material com objetivo

de conduzi-lo ao local de destinação. Esse transporte pode ser realizado por barcas, tubulações e dragas auto transportadoras (USACE, 2004).

2.2. Tipos de Dragagem

Conquanto o termo dragagem designe uma ampla gama de atividades envolvendo a movimentação de materiais submersos, a maioria da literatura técnica classifica a dragagem em quatro tipos principais, conforme a sua finalidade: (i) Dragagem de aprofundamento ou de implantação; (ii) Dragagem de manutenção; (iii) Dragagem de remediação ou ambiental; (iv) Dragagem de mineração (GOES FILHO, 2004).

2.2.1. Dragagem de aprofundamento ou de implantação

Santos (2018), afirma que a dragagem de aprofundamento também pode ser considerada como dragagem inicial ou de implantação, sendo esta executada para implantação, ampliação ou aprofundamento de canais de navegação, bacias de evolução e em outras obras ou serviços de engenharia em corpos de água cujo local ainda não foi dragado na profundidade requerida. Este processo é caracterizado principalmente pela área de concentração da atividade não ter sofrido interferência anteriormente (MACHADO, 2019).

Portanto, acarreta na grande maioria dos casos a necessidade de equipamentos com maiores capacidades de sucção, uma vez que há maior volume de material a ser retirado e o mesmo encontra-se arranjado em sua estrutura original, em geral em um estado mais compacto (SOARES, 2006). Segundo Goes Filho (2004) dentre as vantagens deste tipo de dragagem está a criação de faixas de terra aquáticas e bancos nas zonas de maré, com importante contribuição para certas áreas atingidas pela erosão e afirma que os danos causados ao meio ambiente são facilmente identificados, visto que a concentração dos contaminantes presentes no material é, em geral, de pouca importância já que o material a ser escavado é, em princípio, não contaminado.

2.2.2. Dragagem de manutenção

Este tipo de dragagem pode ser realizado de forma recorrente e consideram normalmente a manutenção de portos ou canais, tratando por exemplo de assoreamentos que comprometem a operacionalidade de infraestruturas portuárias (SANTOS FERREIRA et al, 2014). Já para Machado (2019) o objetivo da dragagem de manutenção é devolver ao rio/mar/lago as condições de projeto em profundidade, já alcançadas através de um processo de dragagem anterior.

Goes Filho (2004) afirma que pelo fato de a dragagem de manutenção ocorrer principalmente em áreas de navegação já aprofundadas artificialmente, esta atividade de

dragagem não é necessariamente prejudicial ao ambiente natural. O autor citado acrescenta que o maior potencial de impacto ambiental advém da disposição de material dragado e do aumento de sedimentos suspensos durante o processo de dragagem (induzindo, muitas vezes, à dispersão de contaminantes). Segundo Eisma (2005), na dragagem de manutenção ocorre a retirada de forma rápida de uma grande quantidade de material sedimentar, sendo que muitas vezes não se é dada a devida importância ao manejo do material dragado.

2.2.3. Dragagem de remediação ou ambiental

Segundo Conceição (2016), este tipo de dragagem tem como objetivo principal a reabilitação ambiental de uma determinada área, normalmente contaminada por ações antrópicas. Ela é executada quando se tem necessidade de corrigir ações efetuadas anteriormente, que resultaram em deposição em locais inadequados de sedimentos contaminados (*IADC - International Association Of Dredging Companies, Environmental Aspects of Dredging, Guide 4, 1997*). Neste processo ocorre a remoção de solos leves e não compactados com presença de contaminantes, exigindo cautela na sua operação (GOES FILHO, 2004). Na dragagem ambiental existem procedimentos rigorosos aplicados tanto à operação de dragagem, quanto ao transporte e manejo deste material, assim como de sua disposição (SOUZA, 2018).

Para Machado (2019), dragagem ambiental corresponde de uma medida de remediação ao impacto ambiental causado pela disposição de sedimentos contaminados em rios/lagos/mares ou dispersos em linha d'água que podem ser oriundos de vazamentos acidentais de óleos, petróleo e derivados, ou ainda, da disposição incorreta de material que apresente risco contra a proteção humana ou marinha. Já Goes Filho (2004) afirma que a dragagem ambiental consiste, portanto, na remoção cuidadosa do material contaminado, sendo constantemente associada a um programa de tratamento, reutilização ou relocação do mesmo.

2.2.4. Dragagem de mineração

Para Machado (2019), dragagem de mineração tem o objetivo específico de execução da atividade para aproveitamento do material dragado. Segundo Souza (2018), esse tipo de dragagem é executado para efeito de exploração e aproveitamento econômico de recursos minerais, como argilas, areias e cascalho utilizados como materiais para construção civil, bem como ouro e outros minerais com reconhecido valor comercial.

Pode ainda ser efetuada para extração de ouro e diamantes das aluviões fluviais (GOES FILHO, 2004). Este processo de dragagem é considerado uma operação de

sucção de minério submerso, sendo indispensável na extração de sedimentos arenosos em rios, principalmente em reservatórios, lagoas e cavas submersas, o ponto chave é o estado do material durante a retirada, que precisa se apresentar inconsolidado (CETESB, 2016).

2.3. Equipamentos de Dragagem

Para Goes Filho (1979), a escolha dos equipamentos de dragagem é bastante complexa e em muitos casos, é determinada pelas condições fisiográficas da área a ser dragada. Portanto, alguns elementos que devem ser examinados, tais como: características físicas, volume, profundidade e nível de contaminação do material a ser dragado, assim como distância da área de disposição e suas condições ambientais (GOES FILHO, 2004). O mesmo autor lista os equipamentos mais usuais e seus respectivos símbolos, os quais são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Equipamentos de dragagens mais usuais. (adaptado de Goes Filho. 2004).

Mecânicos	Símbolos
Caçamba de mandíbulas (<i>Grab dredges</i>)	CM
Escavadeira frontal (<i>Dipper dredges</i>)	EF
Retroescavadeira (<i>Hoes</i>)	RE
Pá de arrasto (<i>Draglines</i>)	DL
Draga de Alcatruzes (<i>Bucket dredge</i>)	AL
Hidráulicos	-----
Draga de Sucção e Recalque	SR
Draga Auto transportadora de Arrasto	AT
Pneumáticos	PN

Segundo Aragona (2018), para o serviço de dragagem são utilizados equipamentos mecânicos e/ou hidráulicos que escavam o solo e deslocam os sedimentos para a superfície. O IADC (2010), com base no modo de escavação e operação, classifica os equipamentos de dragagem em quatro categorias: dragas mecânicas, dragas hidráulicas, dragas mistas (mecânicas/hidráulicas) e dragas hidrodinâmicas.

Já Souza (2018) classifica os equipamentos de dragagem em três grupos: mecânicos, hidráulicos e pneumáticos. Goes Filho (2004) afirma que às condições da área a dragar, devem ser examinadas visto que muitas vezes, as obras de dragagem têm que ser executadas com equipamentos, até certo ponto inadequados, em função da indisponibilidade do equipamento mais adequado nos locais onde será executado o serviço.

2.3.1. Equipamentos Mecânicos

Os equipamentos mecânicos de dragagem foram os primeiros a serem desenvolvidos, devido à sua simplicidade e à sua semelhança com os equipamentos utilizados em terraplenagem (GOES FILHO, 2004). Segundo Souza (2018), esses equipamentos efetuam a escavação de dragagem com lâminas, dentes ou arestas de corte, sendo aplicados normalmente a solos coesivos como argila, turfa, e silte altamente consolidado.

Para Machado (2019), os materiais a serem removidos por este tipo de equipamento são aqueles em que não há grande necessidade de seleção. A figura 2.1 representa equipamentos mecânicos do tipo Caçamba de mandíbula (Grab dredges).

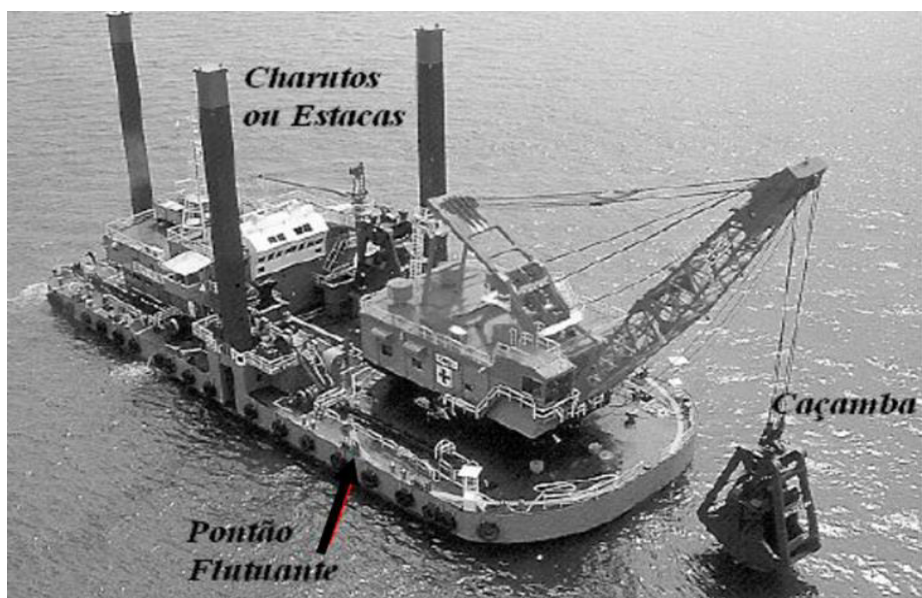


Figura 2.1 - Caçamba de Mandíbulas (*Grab dredges*)

A Caçamba de mandíbulas (Grab dredges), tem seu princípio de funcionamento como o de uma concha com abertura em sentido lateral, que vai ao fundo, capta e iça o material, efetua o giro, a descarga e volta ao fundo, um processo mais demorado se comparado com os demais processos (ALFREDINI & ARASAKI, 2013). Essas dragas possuem estacas que fixam a balsa ao solo para possibilitar o movimento da caçamba, e

além da remoção de solos podem ser utilizadas para a remoção ou relocação de pedras em enrocamentos e derrocamentos (MACHADO, 2019). As vantagens e desvantagens desta draga são apresentadas na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Caçamba de Mandíbulas (Grab dredges): Vantagens e desvantagens (adaptado de Simões, 2009).

Vantagens	Desvantagens
Carregam materiais com o mínimo de perturbação e diluição dos sedimentos, fazendo com que as barcas sejam carregadas com uma grande proporção de sólidos.	A taxa de produção é relativamente baixa se comparada com os outros equipamentos de dragagem.
Tem habilidade de trabalhar em trechos estreitos.	Dificuldade na obtenção de leitos finais nivelados perfeitamente.
A profundidade de operação somente é limitada pela capacidade do cabo de suspensão da caçamba.	Custos unitários muito altos.

As escavadeiras frontais ou retroescavadeiras (figura 2.2) são, praticamente, uma versão adaptada para a dragagem das pás escavadeiras (frontal ou retro), usadas em terraplenagem (GOES FILHO, 2004). Para Machado (2019), enquanto que as escavadeiras frontais impõem uma força no sentido contrário ao posicionamento da draga as retroescavadeiras aplicam a mesma força no sentido da locação da draga, ou seja, a pá puxa o material até a balsa nas dragas retroescavadeiras de mesmo modo que empurra o material até as balsas nas dragas escavadeiras frontais.

As dragas retroescavadeiras são basicamente constituídas por uma caçamba hidráulica que, estabilizada pelos charutos, vai ao fundo para escavar o solo, elevando o material e descarregando em uma barça de formato afunilado ao lado da draga que desloca o material até uma área de depósito (JDN, 2018). Segundo Simões (2009), os charutos montados nos pontões são fixados ao solo e permitem o aumento do torque de escavação das caçambas. As vantagens e desvantagens desta draga são apresentadas na tabela 2.2.



Figura 2.2 - Escavadeiras frontais ou retroescavadeiras

Tabela 2.2 – Escavadeiras frontais (*Dipper dredges*) ou retroescavadeiras (*Hoes*): Vantagens e desvantagens (adaptado de Simões, 2009).

Vantagens	Desvantagens
Facilidade em dragar grande variedade de materiais, incluindo aqueles que contém pedregulhos ou escombros.	Baixos níveis de produção se comparados com outros equipamentos como alcatruzes ou de sucção.
Ausência de âncoras ou cabos auxiliares.	O nivelamento final pode ser irregular dependendo do operador ou da variabilidade do material.
Requer pouca mão de obra para operação.	

A draga pá de arrasto (*draglines*), (figura 2.3). é constituída por uma caçamba de aço suspensa à ponta de um cabo flexível ligado ao guindaste móvel, seu funcionamento é semelhante ao das caçambas de mandíbula (SIMÕES, 2009). Para Machado (2019), o fato deste tipo de draga estar ligado a um guindaste com movimentos liberados exclui a necessidade de um braço mecânico como o caso das dragas escavadeiras e retroescavadeiras, possibilitando assim o alcance de maiores profundidades. A tabela 2.3. apresenta as vantagens e desvantagens desta draga.



Figura 2.3 - Draga pá de arrasto (*Dragline*)

Tabela 2.3 – Pá de arrasto (*draglines*): Vantagens e desvantagens (adaptado de Simões, 2009).

Vantagens	Desvantagens
Melhor precisão no controle de posição e profundidade com relação às dragas de caçamba mandíbulas.	Baixos níveis de produção se comparados com outros equipamentos como alcatruzes ou de sucção.
Facilidade em dragar materiais distintos como pedregulhos e escombros.	Maior perturbação do material dragado, provocando ressuspensão.
A profundidade de operação só é limitada pela capacidade do cabo de suspensão da caçamba.	

A draga de alcatruzes (figura 2.4) foi a primeira tentativa de efetuar as operações de dragagem continuamente, sem a interrupção mecânica (SIMÕES, 2009). Segundo Goes Filho (2004) essa draga é constituída por um rosário de alcatruzes sem fim que, por meio de acionamento mecânico imprimido ao sistema, escava o fundo, descarregando lateralmente o material dragado, geralmente em batelões lameiros afixados a contra bordo da draga. Na tabela 2.4, constam as vantagens e desvantagens deste tipo de draga.

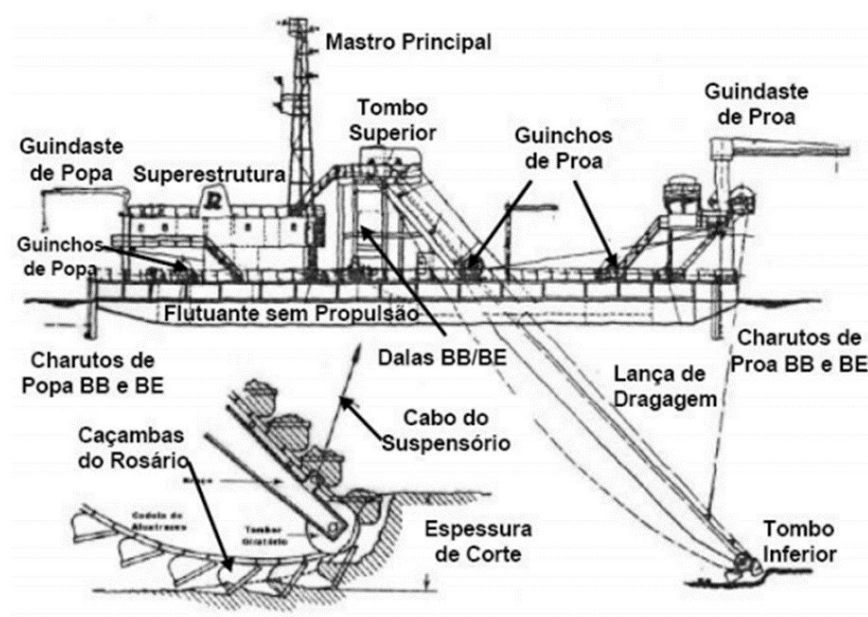


Figura 2.4 - Perfil esquemático da draga de alcatruzes

Tabela 2.4 – Alcatruzes (Bucket dredge): Vantagens e desvantagens (adaptado de Simões, 2009).

Vantagens	Desvantagens
O processo de dragagem é contínuo, permitindo uma dragagem uniforme e controle da profundidade.	Necessita de ancoragem, o que pode interromper a navegação do trecho em operação de dragagem.
A diluição do material dragado não é significativa.	Baixa eficiência quando há necessidade de remoção de materiais em baixas profundidades.
Pode ser operada sob condições de ondas moderadas quando dragando materiais leves.	O custo de construção deste tipo de draga é mais alto comparado com as demais dragas mecânicas.

Aragona (2018) afirma que o objetivo da criação da draga de alcatruzes foi a otimização do processo por meio de uma operação de forma contínua, evitando as interrupções que aconteciam pelo inevitável ciclo das movimentações das caçambas.

Sua aplicação se dá em grandes projetos de implantação de canais, por possuir vantagens como operação contínua, alta força de corte, mínima diluição e boa capacidade de escavação (ALFREDINI & ARASAKI, 2013).

2.3.2. Equipamentos Hidráulicos

A escavação hidráulica é feita com jatos de água que atuam principalmente em solos menos coesivos, como cascalho, areia e silte pouco consolidado (SANTOS, 2018). Para Goes Filho (2004), os equipamentos hidráulicos têm as bombas de dragagem como ferramenta principal, tanto para remover o material escavado, como para bombeá-lo através de tubulações flutuantes a distâncias compatíveis com a potência das bombas (no caso das dragas de sucção e recalque), ou bombeá-lo para as cisternas situadas na própria draga (no caso das dragas autotransportadoras).

A grande quantidade de água dragada junto com o sedimento gera um importante aspecto ambiental, devendo-se considerar instalações de desagüamento, tratamento e lançamento adequado para os efluentes, especialmente quando se trata de sedimentos contaminados e de granulometria fina (PALERMO et al., 2008). De acordo com Silva Lima (2008) a dragagem hidráulica pode ser expressa em volume pelo composto da mistura de 80% de água com 20% de sedimentos. As dragas hidráulicas são subdivididas em Dragas de Sucção e Recalque com Desagregador (SR) e Dragas Autotransportadoras de Arrasto (AT).

Dragas de sucção e recalque (SR), (figura 2.5) são equipadas com charutos/estacas em sua parte traseira, geralmente possuem lanças laterais com âncoras fixadas ao solo através de cabos, e portam um desagregador mecânico instalado na extremidade da lança de dragagem junto ao tubo de sucção (MACHADO, 2019). Já as dragas estacionárias de sucção e recalque são dragas que se destacam pela forma mais simples de operação, porém se limitam a remoção do material de fundo solto, não dispondo de um desagregador (ALFREDINI & ARASAKI, 2013).



Figura 2.5 - Dragas de Sucção e Recalque com Desagregador (SR).

As dragas de sucção e recalque com desagregador mecânico (*cutter suction dredge*) talvez sejam as mais conhecidas de todas, uma vez que opera, comumente, em regiões perto das costas, sendo também, bastante utilizada no engordamento de praias e na construção de leitos de rodovias situados em regiões litorâneas (GOES FILHO, 2004).

Para Aragona (2018), as dragas de sucção e recalque com desagregador mecânico operam na desagregação do solo compactos por movimentos rotacionais feitos pelo equipamento acoplado ao final da tubulação de sucção e recalque da embarcação.

Dragas autotransportadoras de arrasto (AT), figura 2.6, são um conjunto formado principalmente por um casco de navio guarnecido de cisternas para o recebimento do material dragado e tubos de sucção que fazem o recolhimento desse material com o auxílio de bombas (MACHADO, 2019). Seu princípio de funcionamento abrange a captação do material dragado por sucção através de tubulações articuladas em cada borda da embarcação e armazenamento na cisterna da própria embarcação para posterior despejo (ALFREDINI & ARASAKI, 2013). Para Goes Filho (2004), o volume das cisternas é, em geral, o principal parâmetro utilizado na identificação das autotransportadoras e as dragas ATs atuais poderiam ser agrupadas nas classes presentes na tabela 2.5.



Figura 2.6 - Equipamentos Hidráulicos Dragas de Arrasto Autotransportadoras

Tabela 2.5 - Dragas ATs e volumes das cisternas (adaptado a partir de Goes Filho, 2004)

Dragas ATs e volumes das cisternas	Vol. Mínimo (m ³)	Vol. Máximo (m ³)
Dragas pequenas (para manutenção)	500m ³	4.000 m ³
Dragas médias (aplicação geral)	4.000 m ³	9.000 m ³
Dragas grandes (aplicação geral)	9.000 m ³	17.000 m ³
Dragas muito grandes –Jumbos– (grandes aterros)	17.000 m ³	36.000 m ³

2.3.3. Equipamentos Pneumáticos

De acordo com Goes Filho (2004), a dragagem de sedimentos poluídos pode provocar danos ambientais pela dispersão desses sedimentos nos corpos hídricos e as dragas pneumáticas podem minimizar esse problema, pois podem ser usadas onde o material a ser dragado não necessite de corte por meios mecânicos. Segundo Machado (2019) as dragas pneumáticas (Figura 2.7), realizam a sucção do material do fundo utilizando um sistema com pressão de ar comprimido, tendo seu conjunto formado por uma barcaça flutuante, por cabos de lança e de içamento, tubulação pneumática com um sistema de sucção na ponta e compressor de ar.

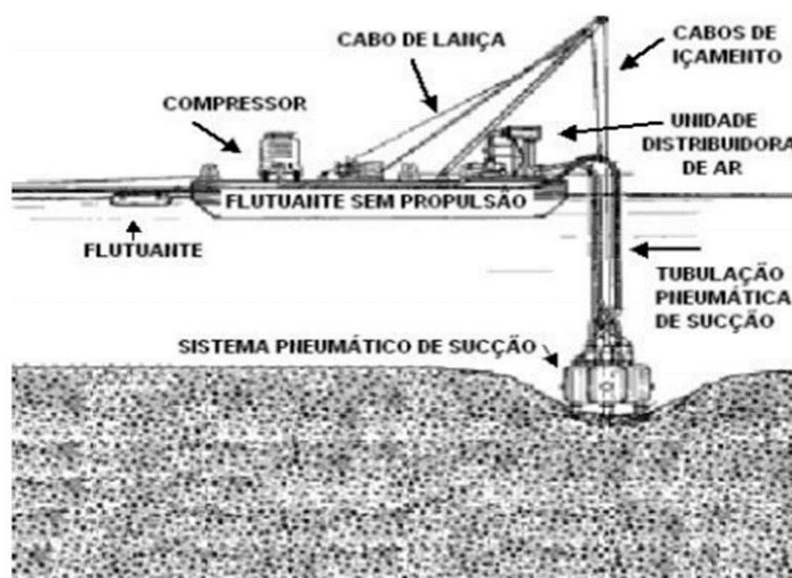


Figura 2.7 - Esquema operacional de uma draga pneumática

Tendo seu funcionamento através da sucção utilizando um sistema com pressão de ar comprimido na ponta que induz a aspiração de pequenos sedimentos de fundo, este método é conhecido como “*Air-lift*” (SOUZA, 2018).

2.4. Transporte do sedimento dragado

Segundo Lima (2008) o transporte dos sedimentos dragados pode ocorrer através de quatro maneiras, sendo elas: hidroviário, ferroviário, rodoviário e sedimento – duto ou conduto forçado. A tabela 2.6, apresenta sucintamente as maneiras de transporte.

Tabela 2.6 - Maneiras de transporte de sedimentos dragados (adaptado de Lima, 2008).

Transporte	Características
Hidroviário	Acontece através de uma barça autopropelida, a qual recebe o material dragado pela escavadeira hidráulica ou draga de sucção e o transporta pelo canal de navegação até o ponto de transbordo.
Ferrovário	A utilização desse sistema acontece principalmente no processo de mineração, para o transporte de materiais sólidos granulares, porém depende da existência de infraestrutura. Os sedimentos são retirados por meio de <i>draglines</i> e depositados em vagões por meio de escavadeiras hidráulicas.
Rodoviário	É considerado o que mais gera interferências no meio ambiente. Seja no trânsito das vias, riscos de acidentes, poluição do ar e solo. Geralmente feito em caminhões.
Sedimento ou Conduto Forçado	O sedimento após ser dragado é armazenado junto ao sistema de bombeamento, dragagem à longa distância, cuja mistura adequada com a capacidade operacional da bomba

2.5. Alternativas de disposição do sedimento dragado

O termo “material dragado” refere-se aos sedimentos extraídos de corpos hídricos durante uma operação de dragagem, na fase de escavação e a palavra “sedimento” refere-

se a todo material sólido transportado ao longo do tempo através das correntes marinhas e depositado no fundo de corpos hídricos (CONCEIÇÃO, 2016). Lima (2008), afirma que para a escolha do método de disposição final do sedimento dragado, deve-se primeiramente definir qual a classe o material se enquadra dentro da NBR 100004/87.

Para Conceição (2016), a disposição dos dragados pode ser executada em meio aquático ou terrestre, sendo que no meio aquático ainda pode ser subdividida em não confinada ou semi confinada, já em terra, os materiais dragados são sempre depositados em meios confinados, nas chamadas confined placement (disposal) facilities – CDFs. Na Resolução do CONAMA Nº 344, fica estabelecido as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, o qual deve ser classificado de acordo com os valores orientadores estabelecidos para solos pela Norma da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, até que sejam estabelecidos os valores orientadores nacionais pelo CONAMA.

Por muitas décadas, o meio mais utilizado foi a disposição dos sedimentos dragados em corpos hídricos, mas devido principalmente às políticas ambientais e aos avanços em pesquisas, outras formas de deposição são atualmente empregadas visando minimizar os impactos ambientais decorrentes (MACHADO, 2019). Sendo assim, o material proveniente das atividades de dragagem pode ser classificado quanto à disposição dos sedimentos, sendo elas: Disposição em corpos hídricos abertos; Disposição em locais confinados; Tratamento; e Uso Benéfico (GOES FILHO, 2004). A figura 2.8 representa as principais alternativas de disposição do material proveniente de dragagens.

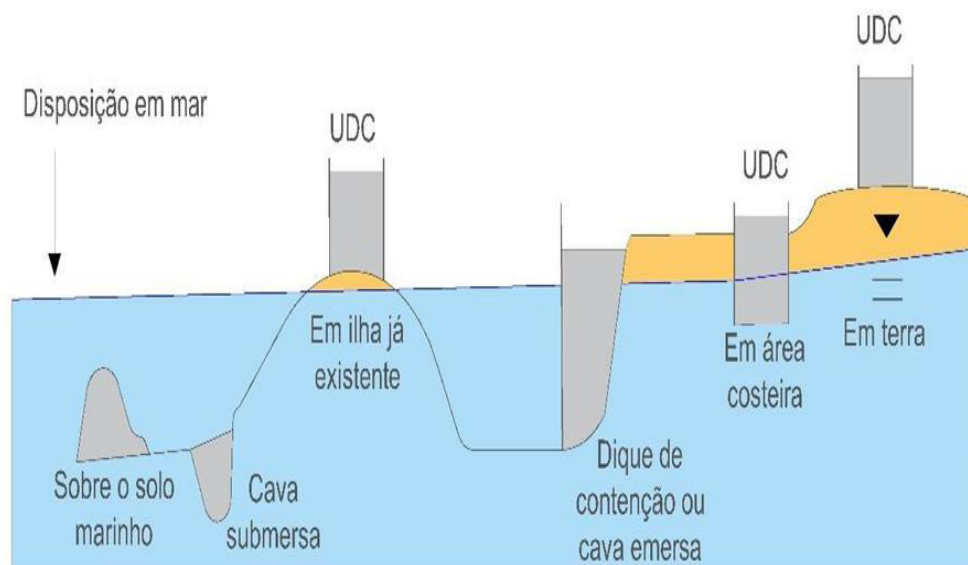


Figura 2.8 - Alternativas de disposição do material de dragagem
(Meyrelles, 2010)

2.5.1. Disposição em corpos hídricos abertos

Segundo Goes Filho (2004), a disposição em corpos hídricos abertos consiste na disposição do material dragado em oceanos, estuários, rios e lagos de forma que o material dragado não esteja isolado das águas adjacentes durante o processo, e aplica-se à deposição de material limpo ou moderadamente contaminado. Para Torres (2000), existem duas regiões para o despejo em mar aberto, sendo elas:

- A primeira região na área de águas profundas após a plataforma continental na qual a profundidade onde o material ficará depositado é geralmente igual ou superior à metade do comprimento da onda.
- A segunda região que compreende a plataforma continental, correspondente às zonas costeiras, nestes casos há alta incidência de ondas e correntes tendo sua energia de propagação efeitos até o fundo aquático, causando a agitação e deslocamento do material depositado.

Neste tipo de disposição, podem ser usadas diversas técnicas para a diminuição da dispersão do material no corpo d'água e para o isolamento adequado do ambiente (PEREIRA, 2012). A figura 2.9, apresenta opções para disposição e controle dos sedimentos depositados em corpos hídricos.

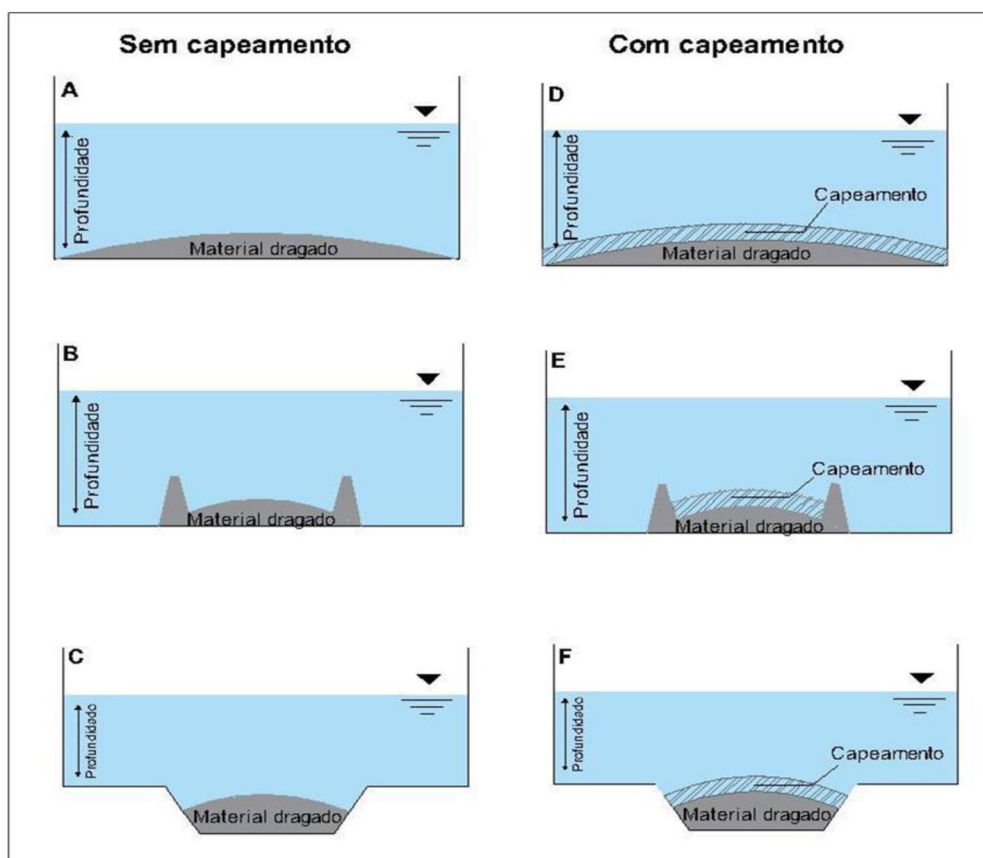


Figura 2.9 - Alternativas de disposição em corpos hídricos abertos
(GOES FILHO, 2004).

Onde:

A – Disposição irrestrita (sem capeamento)

B e C – Disposição com confinamento lateral

D – Capeamento pelo nível do fundo

E e F – Disposição Aquática Contida (CAD)

Conceição (2016) afirma que a deposição em meio aquático semiconfinado ocorre quando se usa confinamento lateral para impedir que o material se espalhe no fundo marinho, sendo que a deposição pode ocorrer em depressões naturais ou artificiais como por exemplo manchas de empréstimo, em fossas propositadamente construídas ou entre bermas ou diques criados. Para Lima (2008), a disposição é realizada em fossas ou depressões com contenção lateral natural, utilizando-se apenas capeamento, ou seja, o recobrimento por uma camada de material limpo com o intuito de isolar o sedimento contaminado. Segundo a PIANC (1986) *Permanent International Association of Navigation Congresses*, identifica-se 4 tipos de localizações offshore para disposição em corpos hídricos, as quais podem ser observadas na tabela 2.7.

Tabela 2.7 - Opções de localização offshore indicadas para disposição em corpos hídricos.

Tipos	Localização
Zonas oceânicas	Áreas afastadas da plataforma continental, ou onde a profundidade exceda 200 metros.
Plataforma continental	Compreende a plataforma marítima continental, entre as isóbatas de -40 a -200 metros.
Zonas próximas à costa	Áreas entre as zonas de -40 metros de profundidade e a zona de arrebentação.
Enseadas	São as zonas adjacentes aos estuários, rios e baías, onde ocorre movimento de sedimentos em grande escala, os níveis de energia são similares àqueles das zonas próximas à costa.

2.5.2. Disposição em locais confinado ou em meio terrestre

Para Pereira (2012), a maioria dos sedimentos dragados demanda disposição especial, devido à frequente presença de contaminantes, a função deste tipo de área é confinar o material dragado contaminado, de forma a que sejam minimizados os efeitos que produz sobre a saúde humana e sobre o ambiente, em geral. O material dragado é usualmente disposto nas áreas confinadas hidraulicamente, seja através de tubulações, ou de sistemas de bombeamento de dragas autotransportadoras, ou por barcas (GOES FILHO, 2004).

A deposição em meio confinado é executada em estruturas projetadas e construídas especificamente para os dragados – Confined placement facilities – CDFs, sendo o principal objetivo de isolar o material dragado dos solos ou águas adjacentes, durante e após a deposição, permitindo ainda que a água do processo saia da área confinada (CONCEIÇÃO, 2016). Souza (2018), afirma que no caso em que o rejeito é constituído por sedimento dragado é necessário observar os critérios de contaminação (química e biológica) além dos critérios físicos (granulometria, umidade, densidade e outros) que interferem diretamente sobre os aspectos geotécnicos, considerando especialmente o uso futuro da área de descarte do material.

Segundo Conceição (2016), o comportamento dos materiais durante e após a sua deposição em CDFs pode ser analisado quanto a aspectos físicos e aspectos químicos e bioquímicos (à semelhança dos depositados em meio aquático). Souza (2018), afirma que a disposição controlada é indicada para sedimentos dragados com características específicas e para local de uso e ocupação industrial do solo, sem contato com a água subterrânea e sem contato direto com pessoas, já o confinamento do material dragado também pode ocorrer em instalações terrestres, seja em cavas de mineração, áreas confinadas por diques ou na forma de ensacamento com geotêxteis.

2.5.3. Tratamento

O tratamento consiste em processar o material dragado contaminado com vistas a reduzir a concentração dos contaminantes, a fim de atenderem aos padrões estabelecidos pela legislação, no caso brasileiro, da Resolução CONAMA Nº 344 (CONAMA, 2004). A escolha do melhor tipo de tratamento, requer estudos prévios de viabilidade econômico-financeira e de impacto ambiental (PEREIRA, 2012).

Para Conceição (2016), o tratamento dos dragados pode ser processado de diversas formas, não existe uma que consiga tratar todos os sedimentos de uma vez e os principais tipos de tratamentos, são: pré-tratamento; físico-químicos; biológicos; térmicos; electrocinéticos. Cada processo de tratamento é apresentado na Tabela 2.8.

Lima (2008) afirma que o tratamento dos sedimentos contaminados se tornou uma opção recentemente, pois antes era considerado dispendioso e inviável, entretanto

mudanças na legislação de controle da disposição de sedimentos em mar e terra conduziram a novas concepções. Goes Filho (2004), relata que a Holanda atingiu uma meta de processamento e reciclagem de material contaminado dragado de aproximadamente 20%, no ano de 2000, assim como a Autoridade Portuária de Nova York/ Nova Jersey, frente à possibilidade de fechamento do porto investiu US\$ 130 milhões em soluções para o tratamento e disposição dos sedimentos dragados no porto.

Tabela 2.8 - Principais tipos de tratamentos (adaptada de Conceição, 2016).

Tipos de tratamentos	Características
Pré-tratamento	O objetivo é reduzir a quantidade de material que irá necessitar de um tratamento mais específico. As técnicas utilizadas baseiam-se na adesão dos contaminantes aos grãos dos materiais.
Físico-químicos	Utilizam técnicas de extração e de imobilização, oxidação de ar líquido, catalisadores de decomposição (<i>Base-Catalysed Decomposition</i>) e troca iônica.
Biológicos	Tem como objetivo transformar os contaminantes orgânicos em compostos inofensivos através de micro-organismos. A eficácia deste processo depende da temperatura, umidade e nutrientes presentes.
Térmicos	Utilizado para remover, eliminar ou imobilizar determinados contaminantes. Podem ser executados por dessorção (<i>desorption</i>) ou imobilização termal, assim como por incineração.
Electrocinéticos	Uma corrente direta aplicada num solo saturado com contaminantes leva a ocorrência de transporte de íons metálicos.

2.5.4. Uso benéfico

Segundo Goes Filho (2004), deve-se frisar que a definição de “uso benéfico” pode gerar algumas contradições, uma vez que no contexto inicial era “uso benéfico para o meio ambiente”, muito mais do que o “uso benéfico para o homem”. Para Machado (2019), muito se discute sobre o uso e benefício do material dragado e essa alternativa visa minimizar os impactos ambientais da atividade e fazer proveito do grande volume de material dragado gerando benefícios não somente ambientais, mas também socioeconômicos. Portanto entende-se como uso benéfico, qualquer utilização que não considere o material a ser dragado como lixo e deve ser considerada a composição e distribuição granulométrica do material dragado, além das condições de remoção, sua aceitabilidade ambiental e custos para o processo (GOES FILHO, 2004).

Para Conceição (2016) a reutilização do material dragado vem sendo recorrente em alguns países, como por exemplo o Japão, que reutiliza cerca de 60% deste material, porém esse fato ainda não é uma prática comum na maioria dos países. Pereira (2012), elaborou um fluxograma com várias possibilidades de uso do material dragado, conforme apresentado na figura 2.10, as três classes de reutilização: obras de engenharia; uso agrícola, aquicultura e horticultura, reparação de danos ambientais.

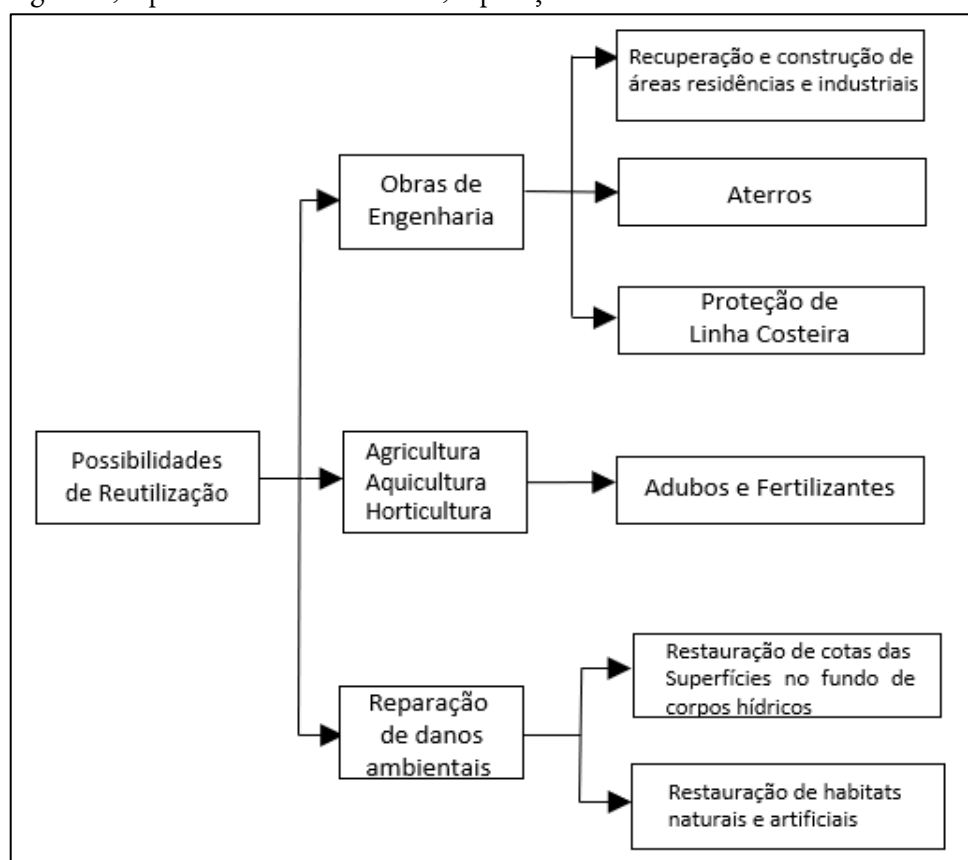


Figura 2.10 - Possibilidades de uso do material dragado
(adaptado de Pereira, 2012).

2.6. Gestão do material dragado

A adequação do material dragado dependerá, essencialmente, do uso específico que se pretenda dar ao mesmo, em cada caso (GOES FILHO, 2004). No Quadro de Avaliação de Material Dragado emitido na Convenção de Londres, (DMAF – Dredged Material Assessment Framework), estão inseridas as considerações básicas para determinar se os dragados devem ou não ser depositados no mar. Este quadro é recomendado pela PIANC, e pela Central Dredging Association – CEDA, e ainda é implementado por diversas convenções regionais, como ferramenta para a gestão do material dragado. A figura 2.11 representa o quadro de avaliação a ser considerado.

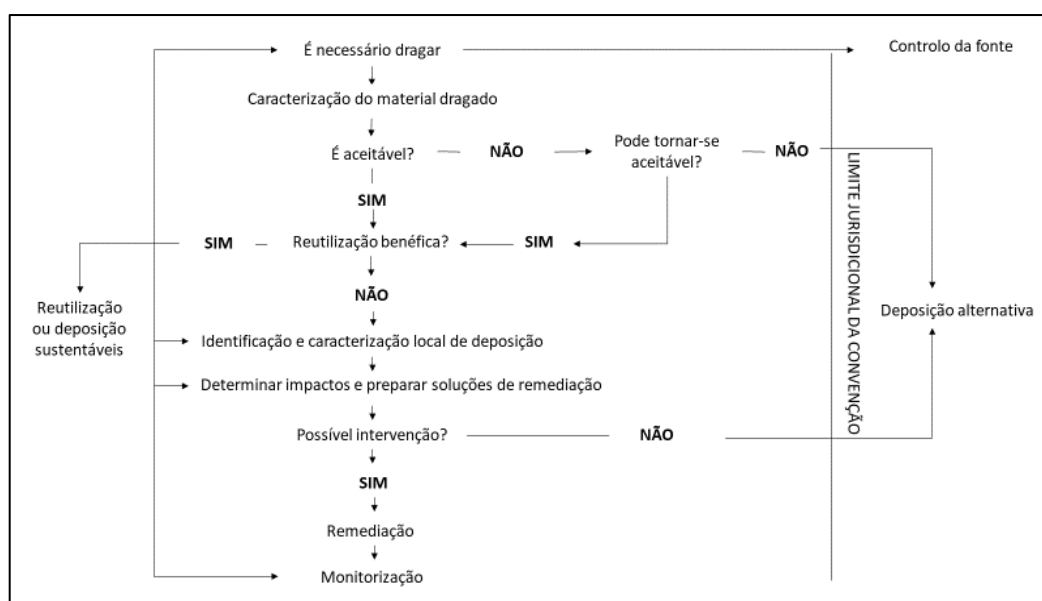


Figura 2.11 - Quadro de Avaliação de Material Dragado
(Fonte: GOES FILHO, 2004).

A partir das alternativas de gestão do material dragado percebe-se que a escolha do processo ideal de manejo deve considerar as preocupações ambientais como um todo, não se justificando sua análise apenas para o material contaminado (GOES FILHO, 2004). No Brasil o CONAMA publicou duas resoluções sobre gestão de material dragado a Resolução 344 em 2004 e cuja revisão resultou na Resolução 454 em 2012. A tabela 2.9 apresenta uma comparação entre os principais tópicos regulamentados nas duas resoluções. Segundo Goes Filho (2004), a gestão do material dragado pode ser dividida em três categorias principais, sendo elas:

- Não-ação: baseia-se em deixar que os processos naturais se encarreguem de gradualmente ir melhorando as condições do depósito, sem nenhuma outra providência.
- Não-remoção: corresponde ao uso restrito da área contaminada, quer através do tratamento dos sedimentos in situ, quer pelo isolamento dos sedimentos no local de sua deposição.

- Remoção: é a dragagem dos sedimentos, seguida pelo seu tratamento, ou pela disposição dos sedimentos em outro local.

Tabela 2.9 – Comparação entre as Resoluções CONAMA sobre material dragado

Resolução CONAMA 344/ 2004	Resolução CONAMA 454/ 2012
Foco está na caracterização do material a ser dragado;	Considera critérios para a caracterização do material dragado, e cita que devem ser consideradas técnicas e metodologias de disposição e as características físicas;
Não cita uso benéfico, apenas disposição em mar e terra;	Cita que o uso benéfico do material deve ser considerado;
As estações de coleta devem ser sugeridas pelo empreendedor e devem ser identificadas e georreferenciadas;	Para disposição em solo, as regras seguem uma norma federal a Res. CONAMA 420;
As metodologias de coleta de amostras de sedimentos deverão ser propostas pelo empreendedor e aprovadas pelo órgão ambiental competente;	Determina que deve ser elaborado um Plano de Amostragem que deve ser aprovado antes da coleta das amostras;
Determina que o IBAMA deverá normatizar a forma de apresentação dos dados gerados para classificação do material dragado, monitoramento das áreas de dragagem e de disposição;	Explicita que a atividade de dragagem é sujeita ao licenciamento ambiental;
Introduz o conceito de caracterização ecotoxicológica, mas dispensa sua realização em alguns casos, estabelecidos na resolução.	Dispensa de caracterização ambiental prévia o material a ser dragado em áreas com monitoramento regular do sedimento;
	Inclui o TBT entre as substâncias de interesse;
	Explicita critérios para a caracterização e classificação de estudos ecotoxicológicos;
	Inclui a realização de avaliações de bioacumulação como estudos complementares;

2.7. Proteção Costeira

Para Goes Filho (2004), existem vários tipos de projetos nos quais o material dragado pode ser utilizado para a proteção costeira, como por exemplo, transpasses de areia em espigões, porque em regiões costeiras quando existe a construção de espigões

ocorre o desequilíbrio no transporte transversal dos sedimentos. Por tanto, indica-se que se adote como uso benéfico para as areias depositadas na zona assoreada, a sua transposição por bombeamento (by-pass) para a faixa erodida, restabelecendo-se a situação morfológica pré-existente. Segundo Conceição (2016), muitas podem ser as formas de utilizar o material dragado para proteção costeira, sendo que algumas delas são apresentadas na tabela 2.10.

Tabela 2.10 - Formas de utilizar o material dragado para proteção costeira. (adaptado de Conceição, 2016).

Formas de utilização	Características
Alimentação de praias	Está associada a defesas costeiras fracas e à criação ou manutenção de estruturas nas costas, dependendo essencialmente da disponibilidade do material e as condições marítimas em que é executada
Bermas off-shore	Dividida em: Feeder Berms tem como objetivo fornecer sedimentos para estes se moverem para a costa; Hard Berms e Soft Berms usadas para reduzir a força e fazer variar a direção de rebentação das ondas, reduzindo a erosão da costa.
Deposição em bancos de cursos de água	Os dragados podem ser benéficos para a agricultura, assim como elevar o nível de rios, valas e terrenos alagados. Normalmente são depositados em locais temporários para que sequem naturalmente.
Construção de diques, barragens ou dunas.	Existem alguns diques construídos ao longo da costa e em terra em que foram usados dragados argilosos e é também possível usar dragados arenosos para a criação de dunas.

Segundo Nogueira (2018), os métodos de proteção costeira agem de forma a cumprir um dos seguintes objetivos: mitigar temporariamente as consequências da erosão; minimizar os danos decorrentes de episódios de tempestade; recuperar ambientes naturais ou ecossistemas. A construção de bermas representa um caso bastante simples para a utilização do material dragado, no sentido que as bermas submersas podem ser

criadas pela descarga de fundo das cisternas de qualquer equipamento de dragagem auto transportador (GOES FILHO, 2004). Para Monteiro (2008) o engordamento ou alimentação de praia, solução para reposição de sedimento perdido pela erosão costeira, é um grande problema para as praias oceânicas e estuarinas.

2.8. Utilização de sedimentos dragados para construção

Para Conceição (2016) o uso de materiais dragados na construção depende da sua granulometria, as areias e os cascalhos são considerados aptos para recuperação de terrenos, especialmente se estas tiverem como futuro propósito a construção, já os siltes e as argilas, que estiveram consolidadas, apenas se tornam aptas para fundações após algum tempo. O mesmo autor afirma que os dragados finos, depois de secos, podem ser usados como isolamento de material contaminado, quer em terra quer no mar, assim como selagem na deposição em meio confinado de materiais dragados contaminados.

Outro uso do sedimento dragado tem sido na manufatura do cimento de Portland, devido à grande quantidade de sílica, alumínio, cálcio e óxidos de ferro, importantes na constituição do cimento (DUBOIS et al., 2009). Para Goes Filho (2004) o sal não pode ser utilizado na produção de concreto armado ou de alta resistência, portanto nos casos em que a fonte do material seja marítima, será necessária sua lavagem, já se a salinidade não for muito elevada, uma fração de areia pode ser usada secundariamente na produção da argamassa.

Existiram muitas tentativas de produzir tijolos a partir de material dragado, sendo que a maioria destes se deparou com um problema de elevado teor de umidade, o que provocava uma elevada expansão quando os tijolos eram cozidos ou um encolhimento excessivo quando estes eram secos lentamente antes do cozimento (BRAY, 2008). Segundo Monteiro (2008) a construção de aterros, com material dragado é mais econômico e ambientalmente aceito do que dispor este no mar ou em terra.

Na construção de estradas, esse sedimento necessita de redução de sais e matérias orgânicas (CASTRO, 2012). A descontaminação do solo dos metais pesados tem sido realizada pela técnica de ultrassonda acoplada à pressão a vácuo (ZENTAR, ABRIAK & DUBOIS, 2009). Segundo Goes Filho (2004) vários processos tecnológicos foram patenteados visando o reuso dos sedimentos dragados na fabricação de tijolos e agregados sintéticos, entre outros materiais de construção.

2.9. Utilização de sedimentos dragados para agricultura e outros

Monteiro (2008) afirma que o uso do rejeito de dragagem pode ser usado na agricultura, como formação de pastagens para gado e para melhorar a qualidade dos solos marginais para fins agrícolas. Segundo Conceição (2016), os materiais dragados,

principalmente os provenientes de rios e massas de água em terra, podem ser usados em indústrias como a agricultura, horticultura e silvicultura, porém os principais problemas são a presença de possíveis contaminantes, incluindo o sal.

As regiões urbanas normalmente utilizam grandes extensões de gramados em residências e parques, que podem ser obtidos a partir de solos dragados, situados à margem de zonas alagadas (GOES FILHO, 2004). Outros usos incluem a melhoria em solos marginais devido ao fato destes apresentarem más condições drenantes e físico-químicas, baixa produtividade devido a níveis freáticos elevados e constantes inundações, portanto a reutilização de materiais dragados pode ser de modo a elevar o valor destes solos ajudando áreas como a agricultura, horticultura e silvicultura (BRAY, 2008).

2.10. Utilização de sedimentos dragados usando geossintéticos

De acordo com Rankilior (1994), as utilizações possíveis de geotêxteis com material dragado são: Controle de escoamento em rios; Construção de diques em estuários; Alimentação de praias; Quebra-mares offshore; Estabilização de sistemas dunares; Estabilização de zonas pantanal (*wetlands*). Projetos de proteção costeira apresentam uma nova possibilidade de uso dos geotêxteis pois apresentam elevada resistência, os quais podem ser preenchidos por solos formando estruturas sólidas, estáveis, flexíveis e adaptadas às configurações do terreno (ORTIZ, 2003).

A importância dessas estruturas na proteção costeira é significativa, devido ao seu baixo custo, reduzido impacto ambiental, elevada eficácia, simplicidade de execução em obra e ainda ao seu caráter de reversibilidade, se necessária (GARCIA, 2007). Para Conceição (2016) o material pode ser colocado em sacos, tubos ou recipientes quer in situ quer em batelões de abrir pelo fundo (*split-hull*).

As primeiras utilizações de mantas geotêxteis no mundo datam da década de 1960 como elementos de filtro para obras hidráulicas e para controle de erosão marítima na Holanda, Estados Unidos, Alemanha Ocidental e Japão (BARRETT, 1966; TENCATE, 2013; SOUZA, 2018). Um exemplo de aplicação foi a construção da ilha Sundown, com de material dragado em 1962. Devido às altas velocidades das correntes e à ação das ondas em função do tráfego de navios, foi gerada considerável erosão na linha de costa, pondo em perigo as espécies que habitavam essas áreas. Como solução, projetou-se um conjunto de três espigões feitos à base de tubos de geotêxtil de 1.50 m de altura, o enchimento dos tubos começou no final de fevereiro de 1995 e foi concluído em quatro dias, foi usada uma bomba de lama que sugava a areia situada na costa da ilha (ORTIZ, 2003).

Também em 1997, os tubos de geotêxtil foram utilizados na construção de 1.219 m, lineares de defesa ao longo da via costeira da cidade de Sea Isle, New Jersey, USA, para

proteger a estrada local de danos produzidos por possíveis inundações. Segundo Ortiz (2003) as primeiras experiências com tubos de geotêxtil na América do Sul tiveram lugar no Brasil na década de 1980, usando como recheio materiais variados da costa, por exemplo, grumos de argila, conchas, e areia fina para a construção de Defesa Costeira.

Segundo Shin et al. (2016), o estudo de casos de aplicação de tubo geotêxtil tem provado ser muito eficaz para construção de dique de mar e proteção de linha de costa da erosão pelo ataque da onda do mar. Para o mesmo autor, a tecnologia de tubos geotêxteis empilhados está aumentando como alternativa para proteger a linha de praia e com a finalidade de resolver o problema ambiental. Os estudos disponíveis na literatura sobre tubos de geotêxtil são principalmente sobre a avaliação dos sedimentos retidos em tubos geotêxteis por testes de pequena escala e testes de escala de campo, estabilidade hidráulica e desempenho geotêxtil em termos de resistência, durabilidade e permeabilidade (KIM ET AL, 2018).

2.11. Geossintéticos

Na área de geotecnia os materiais geossintéticos vêm sendo usados largamente em obras de engenharia com funções de reforço, filtração, drenagem, separação, proteção, entre outras (ORTIZ, 2003). Segundo Pinho-Lopes e Lopes (2010), o termo geossintético foi introduzido por J. E. Fluet Jr. para designar os novos produtos aplicados em obras de construção civil, sendo que só em 1994, no termo geossintético passou a ser usado para designar materiais fabricados com produtos sintéticos ou não.

A Associação Brasileira de Geossintéticos (2018), tem como definição que os materiais geossintéticos são produtos industrializados com pelo menos um de seus componentes fabricados com polímero sintético ou natural. Os quais podem ser apresentados na forma de manta, tira, ou estrutura tridimensional, e são utilizados em contato com o solo ou com outros materiais em aplicações da engenharia civil, geotécnica e ambiental.

Para Santos (2019), os estudos realizados nos últimos anos desses materiais, permitiu que fosse possível compreender melhor o comportamento nas estruturas onde são aplicados, proporcionando construções de estruturas mais eficientes, visto que o desenvolvimento da indústria dos geossintéticos nos últimos anos levou a um aumento da oferta e investimento nos mais diferentes tipos de materiais. As principais razões de seu uso incluem rapidez e simplicidade de aplicação, baixo custo e ambientais baixo impacto ambiental (CARNEIRO, 2009).

2.11.1. Características dos Geossintéticos

A ISO (2015) indica que as principais funções em que os geossintéticos são utilizados são:

- Filtração: Permite a passagem do fluido em movimento pelo o geossintético, retendo o solo e outros tipos de partículas sólidas.
- Drenagem: É a coleta e transporte de fluídos, como águas subterrâneas e pluviais, pelo plano do geossintético.
- Barreira para controle de fluxo: prevenção, limitação ou desvio do fluxo.
- Reforço: É a função de melhorar as propriedades mecânicas de algum material de construção ou de solos em obras geotécnicas.
- Proteção: Previne, evita e limita danos que possam ocorrer em algum material ou na superfície de solo pelo uso de um geossintético.
- Controle de erosão superficial: Limita e previne que ocorra o movimento do solo evitando a erosão da superfície e o acúmulo de entulho de solo nas encostas.
- Separação: Evita que dois materiais diferentes adjacentes se misturem ou entrem em contato um com o outro.
- Alívio de tensões: Retarda o desenvolvimento de trincas em camadas de asfalto.
- Impermeabilização: Atua como uma barreira de fluxo, bloqueando, limitando e desviando a migração de fluídos.

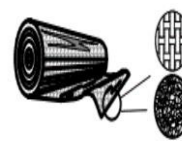
A Sociedade Internacional de Geossintéticos classifica genericamente os geossintéticos em categorias dependendo do processo de fabricação, as quais são apresentadas na tabela 2.11 e a tabela 2.12. relaciona os principais geossintéticos e suas funções.

Tabela 2.11 - Geossintéticos e suas principais funções (VERTEMATTTI, 2004).

	Geotêxtil	Geomembrana	Geotubo	Geogrelha	GCL	Georrede	Geocélula
Separação	X	X	-	X	-	-	-
Proteção	X	-	-	-	-	X	X
Filtração	X	-	-	-	-	-	-
Drenagem	X	-	X	-	-	-	-
Erosão	X	-	-	-	-	X	X
Reforço	X	-	-	X	-	X	X
Impermeabilização	X	X	-	-	X	-	-

Tabela 2.12 - Descrição da classificação dos geossintéticos (*International Geosynthetic Society* – IGS).

Geotêxteis: mantas contínuas de fibras ou filamentos, tecidos, não tecidos, tricotados ou costurados. Usados para aplicações de separação, proteção, filtração, drenagem, reforço e controle de erosões.



Geomembranas: mantas contínuas e flexíveis constituídas de um ou mais materiais sintéticos. Usadas como barreiras para fluidos, gases ou vapores.



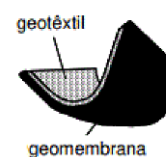
Georredes: materiais com aparência semelhante à das grelhas com séries de membros extrudados paralelos. Usada para conduzir elevadas vazões de fluidos ou gases.



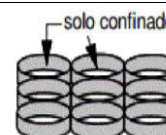
Geogrelhas: materiais geossintéticos com forma de grelha. A principal aplicação das geogrelhas é em reforço de solos.



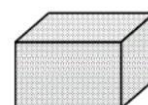
Geocompostos: geossintéticos formados pela associação de dois ou mais tipos de geossintéticos como, por exemplo: geotêxtil-georrede; geotêxtil-geogrelha; georrede geomembrana ou geocomposto argiloso (GCL).



Geocélulas: arranjos tridimensionais relativamente espessos, constituídos por tiras poliméricas.



Geoexpandido: blocos ou placas produzidos por meio da expansão de espuma de poliestireno para formar uma estrutura de baixa densidade. Usado para isolamento térmico como uma camada vertical compressível para reduzir pressões de solo sobre muros rígidos



Geotubos: são tubos poliméricos perfurados ou não usados para drenagem de líquidos ou gases (incluindo coleta de chorume ou gases em aplicações de aterros sanitários).



Dentre os geossintéticos os geotêxteis por sua vez são fabricados a partir de polímeros e sua matéria prima, geralmente com aditivos, que influenciam no seu comportamento e durabilidade quanto à aplicação (MÜLLER, 2018). A NBR 12.553 (2002) classifica o geotêxtil como um tipo de geossintético e o descreve como produto têxtil bidimensional permeável, cujas propriedades mecânicas e hidráulicas permitem que desempenhe várias funções numa obra geotécnica. Segundo a NBR ISO 10318-1:2018 estes ainda são divididos em três categorias, em relação a disposição de suas fibras:

Geotêxtil tecido: as fibras são arranjadas de maneira ordenada, no sentido transversal ou longitudinal. Geralmente utilizados em obras de reforço de solo em taludes e aterros sobre solos moles, drenagem subterrânea, separação de camadas de solos com propriedades diferentes, revestimentos de reservatórios e no controle de erosão em encostas, canais e margens de rios. A figura 2.12 apresenta exemplos de geotêxtil tecido.



Figura 2.12 - Geotêxtil tecido. (Fonte: Autor)

Geotêxtil não-tecido: as fibras são interligadas através de procedimentos térmicos, químicos e mecânicos e são dispostas de maneira aleatória, a figura 2.13, é um exemplo de um geotêxtil não-tecido.



Figura 2.13 - Geotêxtil não tecido. (Fonte: Autor)

Geotêxtil tricotado: as fibras são entrelaçadas, por tricotamento de um ou mais fios, filamentos ou outros elementos. A figura 2.14, apresenta geotêxtil tricotado.

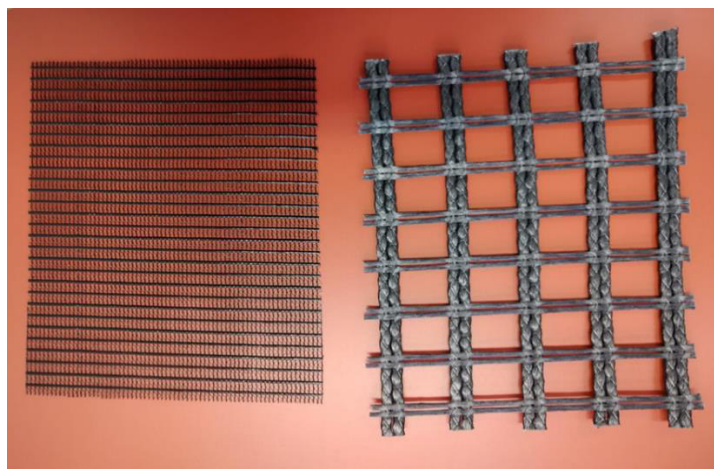


Figura 2.14 - Geotêxtil tricotado. (Fonte: Autor)

A utilização de sistema geotêxtil fechado tem crescido exponencialmente nos podendo ser empregada de pequenas a grandes instalações, para retenção de material dragado e vem sendo adotada para desidratar uma variedade de materiais semelhantes aos sedimentos dragados, como os resíduos de mineração, lodos do tratamento de água e esgoto e resíduos agrícolas (LAWSON, 2008; MAURER, 2012; SOUZA, 2018).

A utilização do geotêxtil no sistema de tratamento dos resíduos dragados de estações de tratamento de água e de esgoto consiste na eliminação do excesso de água do lodo, através da drenagem do líquido pelos pequenos poros do geossintético, ocorrendo o desaguamento progressivo e redução do volume inicial (DI BERNARDO *et al.*, 2012). Para o GRI (2009), os geotêxteis em sistemas fechados são classificados de acordo com suas dimensões, sendo estas apresentadas na tabela 2.13

Tabela 2.13 - Classificação de geotêxtil em sistema fechado em relação a suas dimensões (GRI, 2009).

Nomenclatura	Perímetro (m)	Comprimento (m)
Bolsa em geotêxtil	0,2 a 2	0,3 a 0,7
Container em geotêxtil	0,5 a 10	5 a 30
Tudo em geotêxtil	5 a 30	15 100

2.12. Tubos Geotêxteis

De acordo com Nogueira (2018), os geotubos são estruturas tubulares envolvidas por um geotêxtil preenchido por bombeamento hidráulico de sedimentos e o geossintético utilizado no invólucro é poroso e retém apenas os sedimentos, deixando passar a água ainda na fase de bombeamento. Moo-Young e Tucker (2002) afirmam que os tubos têm sido utilizados para o desaguamento de diversos tipos de materiais como materiais dragados, lodo de tratamento de esgoto, lodo de tratamento de água, rejeitos de mineração e outros.

Segundo Avancini (2017), os tubos em geotêxtil podem ser utilizados de diversas maneiras, tendo tido aplicações hidráulicas e marinhas para estruturas de prevenção de erosão e proteção costeira. A primeira grande obra brasileira de contenção de sedimento contaminado em tubo geotêxtil foi realizada na dragagem do Canal do Fundão no Rio de Janeiro em 2009, a partir desta obra então essa técnica de desaguamento e acondicionamento de sedimentos contaminados tem sido utilizada em obras de dragagem no país (SOUZA, 2018).

2.13. Bolsas Geotêxtil

O Manual Brasileiro de Geossintético nomeia bolsas geotêxteis como fôrmas texteis cúbicas (FTC) e internacionalmente são conhecidas como Geobags (VERTEMATTL, 2015). Os geobags têm sido amplamente utilizados em todo o mundo para fins de proteção costeira (HORNSEY et al., 2011). Thompson (2020) afirma que numerosos estudos têm se concentrado em como os geobags se comportam em ambientes costeiros (por exemplo, MOREIRA ET AL., 2016; DASSANAYAKE MUDIYANSELAGE, 2013);

Os primeiros experimentos bem sucedidos com esse geossintético foram realizados nas praias de Cancún no México como quebra-mar e na regeneração de praias devastadas pelo furacão Gilbert em 1988 (MONROY, 2017). Segundo Thompson et al. (2020), as cargas hidráulicas exercidas nos geobags utilizados para o trabalho costeiro diferem das cargas exercidas em um fluxo de canal aberto. Couto (2011) afirma que os geobags podem ser utilizados em obras de quebra-mar, reduzindo significativamente a energia das ondas e ainda o fluxo de sedimentos, e este sistema custa três vezes menos que o quebra-mar convencional composto de pedras.

De acordo com Benevenuto et al. (2017), os geobags são preenchidos com areia, concreto, terra, entre outros materiais e seu preenchimento pode ser realizado com dragas de sucção ou retroescavadeiras. As bolsas ou tubos em geotêxtil podem ser chamadas também de sistemas fechados em geotêxtil, que possibilita o controle do material afluyente e effuyente (AVANCINI, 2017).

2.14. Container Geotêxtil

O geocontainer ou geotextile sand container (GSC) é um elemento caracterizado pelas suas grandes dimensões e pode ser fabricado com geotêxtil tecido ou não-tecido (NOGUEIRA, 2018). Este tipo de geotêxtil é fabricado com um propósito específico e dimensionado a fim de atender uma barça que conduzirá o material para disposição sua capacidade de volume varia de 100 a 700 m³ e suas dimensões estão limitadas ao interior da barça que apresentam comprimento típico de até 25m (SMITH, 2017; SOUZA, 2018). Segundo Nogueira (2018) a diferença entre bolsas geotexteis e geocontainer são suas dimensões porque ambos são preenchidos usualmente com material arenoso e podem ser aplicados em espigões, quebra mares, recifes artificiais, estruturas longitudinais aderentes.

2.15. Sistema de Confinamento de Resíduos (SCR)

Vidal e Urashima (1999) afirmam que os mecanismos para disposição de sedimentos em sistemas geotexteis fechados são influenciados pelas propriedades do geotêxtil, propriedades do material de enchimento e pelas condições de solicitações do sistema. Os tubos de geotêxtil podem ser usados isoladamente ou formando um sistema com vários tubos (ORTIZ, 2003). A escolha do produto a ser utilizado no dimensionamento do sistema de confinamento em geotêxtil é importante que a capacidade do sistema seja compatível com a taxa de desaguamento (AVANCINI, 2017).

Segundo Moo-Young e Mo (2002) a preocupação principal no dimensionamento do filtro do sistema é a retenção das partículas do solo, sendo assim a permeabilidade do geotêxtil escolhido deve ser suficiente para evitar a passagem de solo pelo geotêxtil. O geotêxtil deve ser permeável o suficiente para permitir que a água escorra rapidamente, mas deve fazê-lo sem perda excessiva de partículas finas e contaminantes (SILVA, 2019).

A técnica consiste em eliminar o excesso de água do resíduo, através da drenagem do líquido pelos pequenos poros do geotêxtil, ocorrendo desaguamento progressivo e redução do volume original. (FOWLER et al., 1997; MOO-YOUNG et al., 2002; MUTHUKUMARAN e ILAMPARUTHI, 2006; SILVA, 2019). Para Lima (2016) como o geotêxtil funciona como um processo de filtração a retenção de partículas através do geossintético é rápida e a água filtrada torna-se mais limpa, e isto ocorre devido à colmatção física ou biológica do geotêxtil. Este processo em um tubo de geotêxtil é chamado de Filter Cake, o qual aumenta a eficiência de filtração, todavia reduz a permeabilidade (LESHCHINSKY, 1996; GAFFNEY ET AL, 1999).

O processo de deságue em um SCR pode ser dividido em três fases: a fase inicial de preenchimento, onde ocorre o bombeamento hidráulico geralmente em fluxo turbulento; a segunda fase é a formação de precipitação das partículas em suspensão sobre a superfície interna do tecido, nesse processo ocorre a saída do excesso de água e início da consolidação do sistema; a última fase é a finalização dos ciclos de preenchimento, não mais ocorrendo a primeira e segunda etapa, com o resíduo desaguando e adensando sobre peso próprio (YEE & LAWSON, 2012; SMITH, 2008; MÜLLER, 2018). Neste mesmo contexto, Yee & Lawson (2012) também analisam o comportamento no interior de um SCR durante os ciclos de preenchimento, como ilustra a figura 2.15.

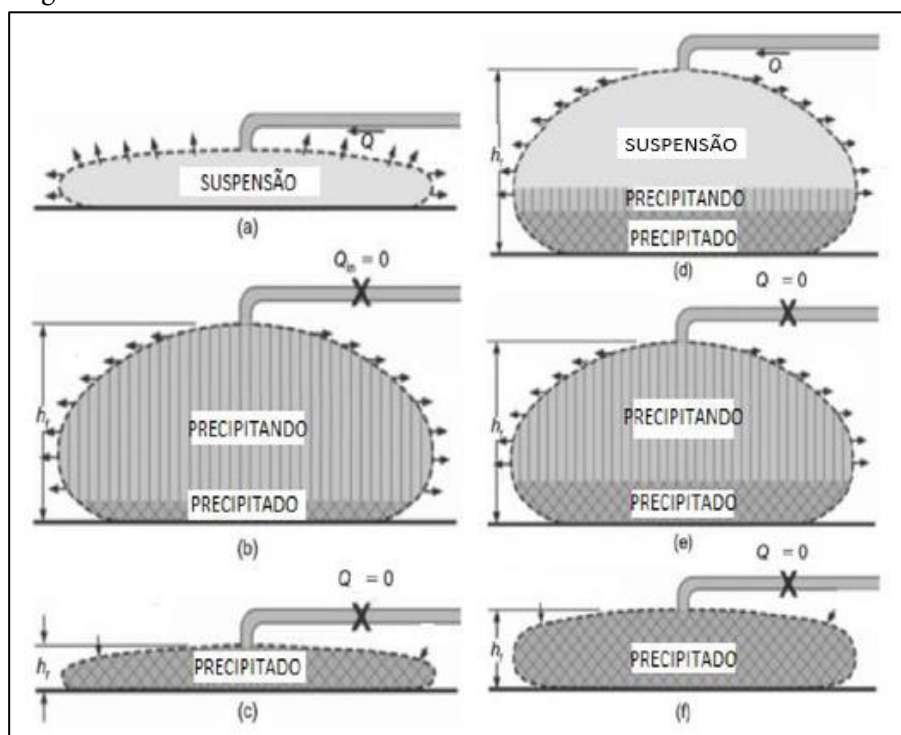


Figura 2.15 - Ciclos de deságue em um SCR internamente (YEE & LAWSON, 2012)

Segundo Muller (2018), este processo de preenchimento, ocorre através do preenchimento do geotêxtil até a altura máxima estipulada em projeto, o sistema perde água por filtração forçada, drenagem e evaporação e consequentemente perde volume, e só após perda de volume suficiente, o novo preenchimento pode ser realizado. Avancini (2017), afirma que as principais características que devem ser controladas e analisadas em um SCR, são: resistência à tração, alongamento na carga máxima, perfuração dinâmica, durabilidade, permeabilidade normal e abertura de filtração.

Para Shin e Oh (2003), a altura de queda e variação de formato do geotêxtil é um fenômeno complexo que depende de muitos fatores, como densidade, quantidade inicial de água, força do geotêxtil, e interação do solo e geotêxtil. A figura 2.16 apresenta as etapas de deságue e como é o comportamento dos sólidos conforme o volume retido.

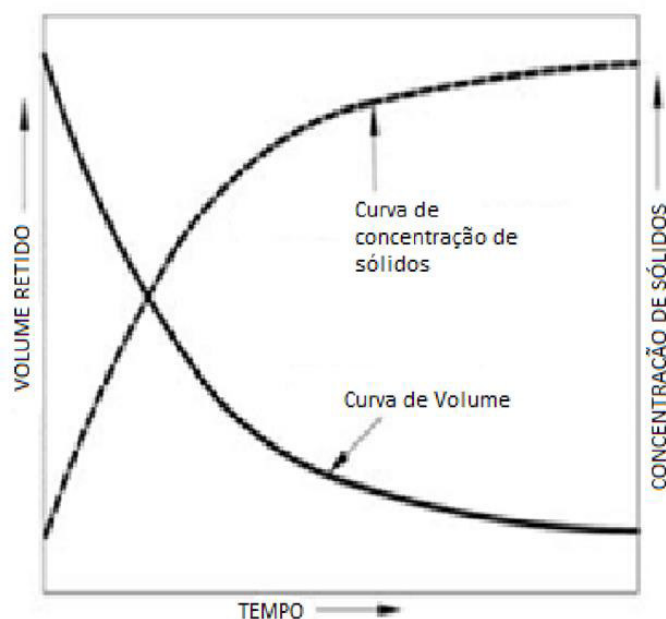


Figura 2.16 – Diminuição de volume e aumento na concentração de sólidos (Muller, 2018).

Para garantir que uma operação de deságue ocorra conforme planejado, deve-se estar atento a um balanço de volume entre a quantidade de massa que entra no tubo geotêxtil e quantidades de líquidos e sólidos que saem do sistema devem ser mantidos (LAWSON, 2008). Segundo Shin (2016) os principais problemas em um SCR é a falta de critérios de projeto adequados para fatores como estabilidade hidráulica e funcionalidade estrutural e falta de conhecimento de seu comportamento durante e depois da construção.

Solos depositados em ambientes costeiros e resíduos gerados de dragagem são mais difíceis de trabalhar em um SCR devido ao seu alto teor de água, alta compressibilidade e baixa resistência ao cisalhamento (LIAO E BHATIA 2005). Para Kim (2018), uma maneira de solucionar este problema em relação a esse tipo de solo é bombear hidraulicamente o resíduo, pois devido à natureza porosa do geotêxtil e o peso do solo, o tubo se consolida.

2.16. Propriedades de geotêxtil e do material de enchimento

As propriedades de uma manta geotêxtil envolvem gramatura (μ), espessura (t), porosidade (ϵ), abertura de filtração, permeabilidades normal e longitudinal, capacidade de fluxo, resistência à tração, resistência ao funcionamento, capacidade de alongamento, resistência à luz ultravioleta e a oxidação (PIEPER, 2008; SOUZA 2018). Dentre estes os principais para um SCR são: abertura de filtração, permeabilidade, resistência à tração e os critérios de durabilidade.

A abertura dos poros do geotêxtil é uma característica importante quando o intuito de usar este material com finalidade de desaguentamento, pois os poros grandes permitem a passagem de partículas sólidas através das aberturas e poros muito pequenos

podem significativamente a eficiência de deságue (KOERNER, 2006). Avancini (2017) afirma que a resistência à tração nas emendas é uma propriedade relevante no caso específico de deságue.

A NBR ISO 10.319 indica que os dados de resistência à tração nominal em ambas as direções de um geotêxtil são importantes na determinação do tamanho e do enchimento de um SCR, pois os dados influenciam no perímetro, comprimento e pressão de preenchimento. A NBR ISO 11.058/2013 possibilita determinar a permeabilidade em função do gradiente hidráulico e velocidade de fluxo, pois o coeficiente de permeabilidade do geotêxtil (K_n) sendo este importante para avaliar a passagem do líquido através do meio filtrante.

A NBR ISO 12958/2013, indica que a capacidade de fluxo no plano é expressa em $L/(m.s)$, assim como o volume de fluido que passa no plano por unidade de largura em certo segundo, para cada tensão normal e gradiente hidráulico. Para esforços normais aplicados ao geotêxtil que provoquem compressibilidade e consequente redução na espessura, principalmente os não tecidos, deve-se utilizar o coeficiente de permissibilidade (ψ) como parâmetro, pois este correlaciona a permeabilidade com a espessura do geotêxtil. Os valores de permissividade variam de 0,02 a 2,2 s^{-1} (SOUZA, 2018).

Segundo Avancini (2017), para o dimensionamento de tubos em geotêxtil para o desaguamento é importante levar em conta a natureza do material a ser desaguado, como por exemplo, contenção de resíduos contaminados, sendo assim a retenção das partículas é o critério mais importante. Para Souza (2018), a granulometria do material de enchimento interfere no processo de filtração com geotêxtil.

2.17. Condicionamento do sedimento com polímero

Segundo Avancini (2017), em SCR para o deságue de resíduos, o uso de polímeros se faz necessário para aumentar a retenção de sólidos suspensos e a velocidade de deságue, pois os polímeros unem os sedimentos finos por neutralização de cargas e por formação de pontes. Para Vidal (2003) essas substâncias químicas chamadas de aditivos ou floculantes, por meio de reações químicas, combinam-se aos componentes do material a ser desaguado formando flocos, o que permite que a avaliação do uso de geossintético para o deságue e geocontenção de resíduos sólidos, e que a retenção seja mais eficiente, diminuindo o risco de colmatação do geotêxtil por partículas finas comuns em material do tipo lodo.

A adição de aditivos químicos forma uma espécie de esqueleto (skeleton builders), pois aumenta a permeabilidade da torta de lodo e da camada de sólidos aderida ao meio filtrante (THAPA et al., 2009). Para Khachan et al. (2011), a aplicação de polímeros em condicionamento de lodos tende a aumentar as taxas de deságue e maior

retenção de finos e contaminantes. Segundo Lima (2016) existem três tipos de polímeros que podem ser utilizados no condicionamento do lodo: catiônico, aniônico e não-iônico, de acordo com a carga de seus grupos funcionais.

Satyamurthy e Bhatia (2009) relatam que a introdução de produtos químicos, podem melhorar a qualidade do filtrado, reduzir o tempo de desaguamento, diminuir a resistência à filtração, porém devido aos custos elevados de aquisição dos produtos para grandes quantidades se faz necessário otimizar o tipo e a dosagem desses produtos químicos. Após a dosagem da solução polimérica na tubulação que conduz a lama ao tubo geotêxtil, é instalada uma chicana misturadora constituída de tubulação com curvas em *zig zag* horizontal capaz de promover turbulência para mistura e floculação, sistema também chamado de floculação em linha, (SOUZA, 2018). Este processo pode ser observado na figura 2.16.

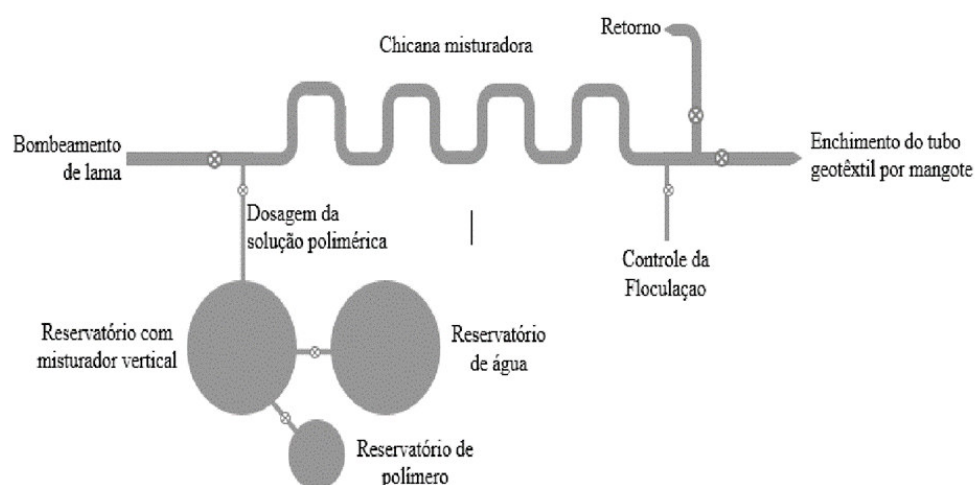


Figura 2.16. Esquema de condicionamento da lama
(SOUZA, 2018)

A seleção e dosagem do tipo de polímero influencia diretamente no deságue do lodo, devido a isso é necessário buscar o ponto de condicionamento químico ótimo (GUIMARÃES; URASHIMA; VIDAL, 2014). Segundo Haak (2011) os fatores que mais influenciam na desidratabilidade do lodo são, a dosagem de polímero, o tempo de mistura e gradiente médio de velocidades, pois uma combinação excessiva, tanto do ponto de vista de tempo como de velocidade, pode causar a desagregação das partículas do lodo, “desestabilizando-as” logo após tê-las floculado. Este processo trata de uma alternativa vantajosa, pois torna viável a redução de volume, facilitando o manuseio, transporte e disposição final dos sólidos ou mesmo sua reutilização (SILVA, 2019).

2.18. Índices de avaliação de desempenho do sistema

Tominaga (2010) estudou os procedimentos para avaliação de desempenho do tubo geotêxtil para desaguamento. Para analisar a capacidade de desidratação em geotêxtil, dois aspectos importantes são analisados: a eficiência da desidratação e a relação entre o volume de sólidos passantes com o tempo de deságue. A eficiência da efetividade do polímero, calculada relacionando a efetividade do polímero à retenção do material e a vazão de acordo com a equação 2.

$$\text{Eficiência Polímero (retenção)} = \frac{P_{\text{lodo}} - P_{\text{lodo c/pol}}}{P_{\text{lodo}}} \times 100\% \quad ((2))$$

Onde,

P_{lodo} = peso seco do percolado sem polímero, em gramas.

$P(\text{lodo c/pol})$ = peso seco do percolado usando o polímero, em gramas.

Moo-Young et al.; (2002), sugerem que a análise da Eficiência de Filtração (EF) do sistema pode ser obtida comparando a quantidade de Sólidos Suspensos Totais (SST) do filtrado, ou seja, do efluente, com a quantidade de Sólidos Totais (ST) inicial da amostra. Porém neste caso, o SST é substituído pelo total de sólidos totais (ST final), também é considerado os sólidos dissolvidos no efluente. O valor de sólidos suspensos totais do efluente é geralmente alto apenas no início do desaguamento, podendo reduzir-se drasticamente quando há formação de “filter cake” (LIAO e BHATIA 2005). Conforme indicado por Tominaga (2010), esta eficiência é calculada através equação 2.1:

$$EF = \frac{ST_{\text{inicial}} - ST_{\text{final}}}{ST_{\text{inicial}}} \times 100 (\%) \quad ((2.1))$$

Onde,

EF = Eficiência de Filtração, em%.

ST_{inicial} = Sólidos totais iniciais, em mg / L.

ST_{final} = Sólidos totais finais, em mg / L.

A Eficiência de Desidratação (ED) é obtida de maneira semelhante, comparando a porcentagem final de sólidos com a porcentagem inicial de sólidos, sendo calculada através da equação 2.2. Já a eficiência de infiltração (IE) se refere à umidade do sedimento antes e depois do processo de desidratação e é calculada pela equação 2.3.

$$ED = \frac{PS_{final} - PS_{inicial}}{PS_{inicial}} \times 100 (\%)$$

((2.2))

Onde,

ED = Eficiência de Desidratação, em %;

$PS_{inicial}$ = porcentagem sólida inicial.

PS_{final} = Porcentagem Sólida Final.

$$EI = \frac{W_{inicial} - W_{final}}{W_{inicial}} \times 100 (\%)$$

((2.3))

Onde,

EI = Eficiência de Infiltração, em %;

w inicial = umidade inicial do lodo (%);

w final = umidade final do bolo de lodo (%).

Na sequência de estudos de eficiências são calculadas as partículas passantes (PP), ou seja, a perda de partículas por unidade de área (g / m^2). Segundo Satyamurthy e Bhatia (2009), essa eficiência é a perda de partículas ao longo da superfície do geotêxtil. Enquanto o “filter cake” não é formado ou quando se forma lentamente, ocorre o carregamento contínuo das partículas, com maiores perdas de partículas finas (SILVA, 2019). As partículas passantes são calculadas através da equação 2.4:

$$PP = \frac{ST_{final}}{A}$$

((2.4))

Onde,

ST_{final} = sólidos totais que passam pelo percolado, em gramas.

A = área efetiva de desidratação, em m^2 .

3 | Descrição da região do estudo

3.1 Localização

A área de estudo está localizada no extremo sul do Brasil, no Porto do município do Rio Grande que está localizado na Planície Costeira do Rio Grande do Sul entre os paralelos $31^{\circ} 47' 02''$ e $32^{\circ} 39' 45''$ de Latitude Sul e entre os meridianos de $52^{\circ} 03' 10''$ e $52^{\circ} 44' 10''$ de Longitude Oeste. Seus limites territoriais são ao norte com o município de Pelotas e a Lagoa dos Patos, ao sul com o município de Santa Vitória do Palmar, à leste com o Oceano Atlântico e a Oeste com o município de Pelotas e o município de Arroio Grande, através da Lagoa Mirim e Canal de São Gonçalo. Possuindo uma área de $3.338,335 \text{ km}^2$ com população 211.005 pessoas segundo o IBGE.

O Porto de Rio Grande é considerado o porto mais meridional do Brasil e o único porto marítimo do Estado do Rio Grande do Sul, e está localizado no baixo estuário da Lagoa dos Patos. O sedimento utilizado neste estudo foi retirado do canal de acesso ao porto novo durante a operação de dragagem de manutenção do mesmo no ano de 2019. A figura 3. apresenta o local do estudo e de retirada do material.

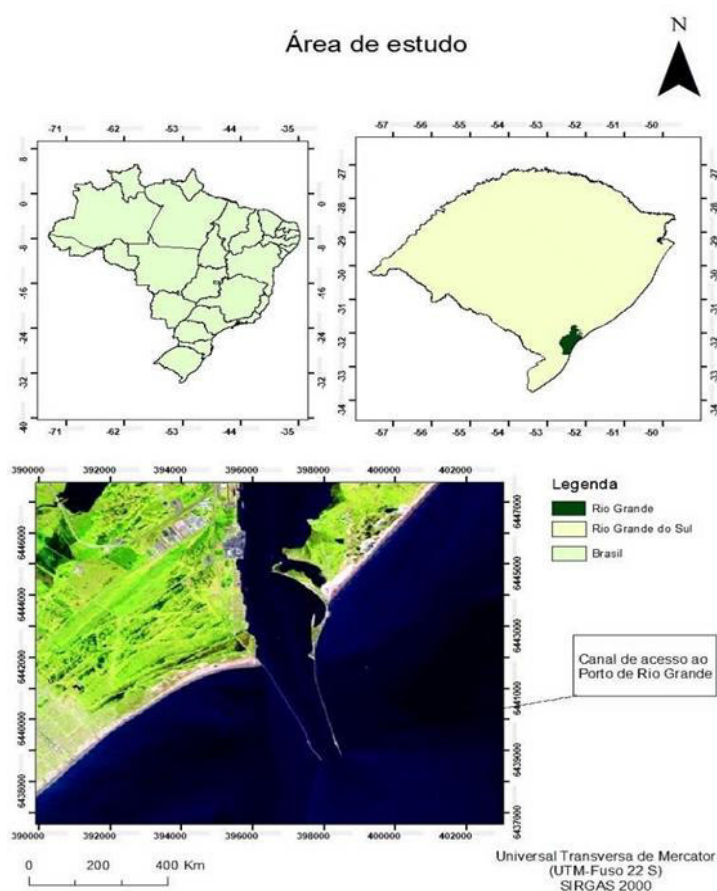


Figura 3. Local de estudos

3.3 O porto de Rio Grande

O Porto de Rio Grande, está situado na região estuarina da Lagoa dos Patos e seu canal de acesso que se estende até a região costeira adjacente, e apresenta um processo de assoreamento acentuado (SILVA, M. 2019). As áreas e setores portuários (figura 3.2), definidos pelo Plano de Zoneamento das Áreas do Porto Organizado do Rio Grande (1995) localizam-se na margem oeste do estuário da Lagoa dos Patos, adjacente à extremidade da península, onde se situam os centros administrativos de Rio Grande (Porto Velho, Porto Novo), do pontal da Mangueira até a raiz do molhe oeste (Superporto) e margem leste do Canal da Barra de Rio Grande (São José do Norte).



Figura 3.2 - Zona portuária

O Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (2014) estimou em 5.868.450 metros cúbicos o volume de assoreamento anual desse porto. Ainda conforme dados fornecidos pela Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG), foram removidos mais de 33 milhões de metros cúbicos dos canais de navegação interno e externo, bacias e berços de atracação entre os anos de 1998 e 2012.

3.4 Histórico de Dragagem no Porto

Os dados referentes ao levantamento do histórico das dragagens de aprofundamento e manutenção, e o volume de sedimentos retirados do canal de acesso do porto foram disponibilizados pela Superintendência do Porto do Rio Grande e estão apresentados na tabela 3. Segundo a Superintendência do Porto de Rio Grande a atividade de dragagem tem se concentrado no Canal de Acesso e nos portos marginais desde 1833.

Tabela 3. Histórico de Dragagem do Porto de Rio Grande

Ano	Mês	Ar	Tr	Vol (m³)	Ano	Mês	Ar	Tr	Vol (m³)	
1998	Março	A	1	750.000,00	2004	Abril	C	6	251.276,30	
	Abril	A	1	1.175.000,00		Maio	C	5	307.475,00	
		C	3	85.000,00		Junho	B	4	61.148,00	
	Maio	A	1	37.406,00		Julho	B	3	66.607,00	
		B	2	80.000,00	2006	Julho	C	6	224.93200	
		C	3	120.000,00			C	6	330.000,00	
	Junho	A	1	132.488,10		Agosto	C	6	105.263,16	
		B	2	131.856,00		Setembro	C	6		
		C	3	114.663,00		Outubro	C	5	50.067,84	
	C	6	276.730,00							
2000	Julho	C	2	276.712,34	Novembro	A	2	39.844,00		
	Agosto	C	2	879.868,00		B	4	353.755,00		
		Novembro	A	1	30.154,00	Dezembro	A	2	250.000,00	
	Dezembro		C	3	261.316,00	2007	Janeiro	A	2	565.382,00
		C	3	326.874,00	Fevereiro		A	2	443.921,00	
		C	3	194.598,00	Março		A	1	82.373,00	
A	1	17.636,00	A	2			290.275,00			
2001	Janeiro	A	3	16.217,00	Abril		A	1	300.000,00	
		A	1	330.786,00			A	1	49.683,00	
	Fevereiro	B	3	36.511,00			A	2	59.725,00	
	Março	A	1	125.500,00			A	1	86.962,00	
		Abril	A	3	64.440,00		Maio	A	1	27.738,00
			B	1	2.397,00			A	2	87.772,00
	A		1	67.794,00	2009	Setembro	C	6	111.638,23	
	Maio	B	3	169.312,31		Outubro	C	6	270.141,34	
		A	1	27.696,00	2010	Fevereiro	C	6	200.000,00	
	Julho	A	1	177.025,00		Março	C	6	180.554,00	
A		1	750.000,00	Abril		C	6	173.981,00		
2003	Agosto	A	1	100.000,00	2009 2010	Junho/09 a Julho/10	A	1 e 2	10.112.950,00	
		A	2	300.000,00			B	3,4 e 5	7.639.881,00	
	Setembro	A	2	20.718,00		Dezembro/11 a Março/12	A	Ra*	596.047,00	
		A	2	498.620,00	B		3, 4 e 5	2.729.875,00		

*Os dados foram fornecidos pelo Porto de Rio Grande

Onde Ar= área

Tr= trecho de coleta

Ra = rampa de acesso

No Porto de Rio Grande são realizadas as dragagens de manutenção, que consistem na retirada do material sedimentar depositado recentemente, tendo como finalidade manter a profundidade do canal propiciar a movimentação de embarcações de vários tamanhos (Bray, et al., 1997). De acordo com Kerstner (2003), as maiores profundidades do estuário estão confinadas aos canais de navegação tanto naturais quanto artificiais atingindo profundidade máxima de 18 metros no Canal do Norte, que comunica a Lagoa dos Patos com o Oceano Atlântico. De acordo com Granato (2005), a perda considerável de áreas estuarinas não é apenas o resultado da sedimentação natural, mas também de processos mediados pelo homem.

3.5 Características Geotécnicas do sedimento

3.5.1 Processos deposicionais

Villwock (1978), considera que a província costeira do Rio Grande do Sul é definida geologicamente pela Bacia de Pelotas e o Embasamento Cristalino e que o seu crescimento ocorreu durante o Quaternário, através do desenvolvimento e justaposição de quatro sistemas deposicionais do tipo laguna/barreira, relacionados a quatro eventos transgressivos/regressivos do nível do mar. O mesmo autor, afirma que os sistemas laguna/barreira I, II e III (B1, B2, B3) formaram-se durante o Pleistoceno (o sistema I é o mais antigo) enquanto que o sistema IV (B4) iniciou seu desenvolvimento durante o Holoceno, conforme representado na figura 3.3.

O pacote sedimentar que se acumulou na Bacia de Pelotas assenta sobre rochas antigas que constituem seu embasamento. Segundo Fontana (1990), a Bacia de Pelotas foi sendo preenchida por um pacote de sedimentos, com mais de 10.000 m de espessura, em que os folhelhos predominam sobre arenitos, calcilutitos e conglomerados.

O Embasamento é caracterizado pelo Escudo Sul-Riograndense, composto por formações rochosas Pré-Cambrianas e por sequências sedimentares e vulcânicas Paleozóicas e Mesozóicas da Bacia do Paraná, sendo estas rochas a área fonte de sedimentos para a Bacia de Pelotas (CALLIARI, 1998). Paixão (2012) produziu um grande banco de dados com 1.695 amostras superficiais de sedimentos ao longo de toda a Bacia de Pelotas, contemplando a plataforma continental, talude e oceano profundo (figura 3.4).

Alguns estudos sobre a caracterização geotécnica em amostras de sedimentos foram realizados na Lagoa dos Patos, entre São Lourenço do Sul e Rio Grande, e sedimentos marinhos coletados entre Rio Grande e Torres. Este estudo encontrou resultados que

corroboram com a classificação granulométrica apresentada por Paixão (2012), sendo assim amostras coletadas mais ao sul apresentaram maiores percentuais de argila, umidade, índice de plasticidade e menor resistência.

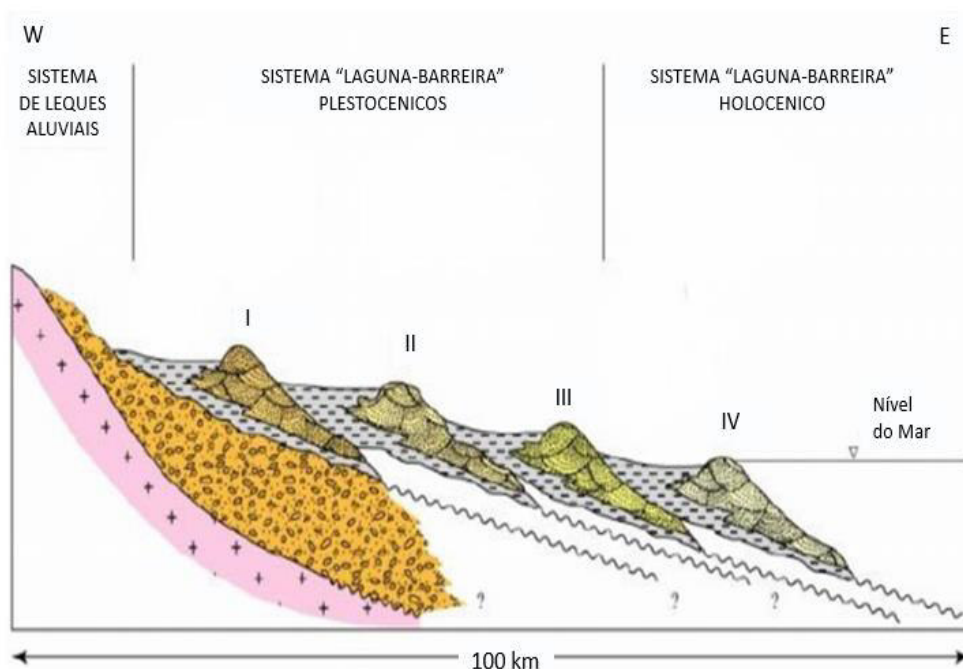


Figura 3.3. Perfil esquemático (W-E) transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. (Tomazelli & Villwock, 2005).

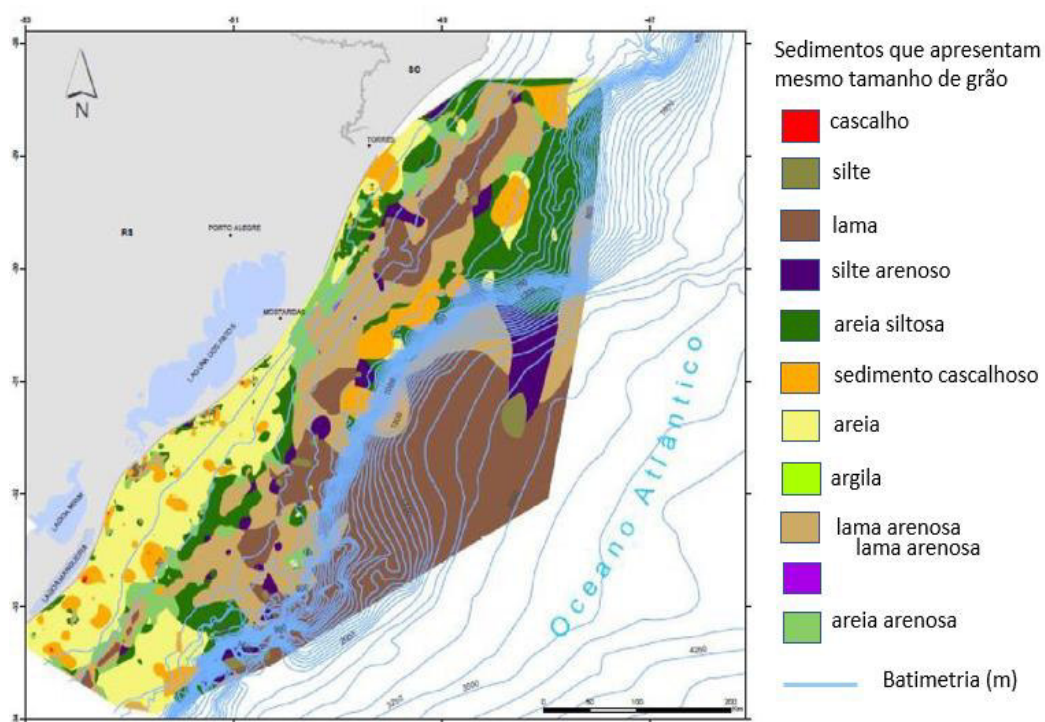


Figura 3.4 - Mapa Faciológico da Bacia de Pelotas.
(Fonte: Paixão, 2012)

3.5.2 Geologia do sedimento

Os sedimentos de fundo da região estuarina podem ser classificados em seis grupos, conforme a análise textural: arenosa, areno-siltico, areno-argilosa, mista, siltico-argilosa e argilo- siltica (CALLIARI, 1980). O mesmo autor constatou que a erosão natural no estuário da Lagoa dos Patos ocorre tanto nas margens a oeste do estuário, como nas margens próximas ao canal de acesso, tendo sido estimada a remoção anual de sedimentos para a costa adjacente em cerca de 2.500.000 m³. Antiqueira e Calliari (2005) caracterizaram o fundo na desembocadura da Lagoa dos Patos e seu zoneamento hidrodinâmico, a partir de 179 amostras esta caracterização pode ser observada na figura 3.5.

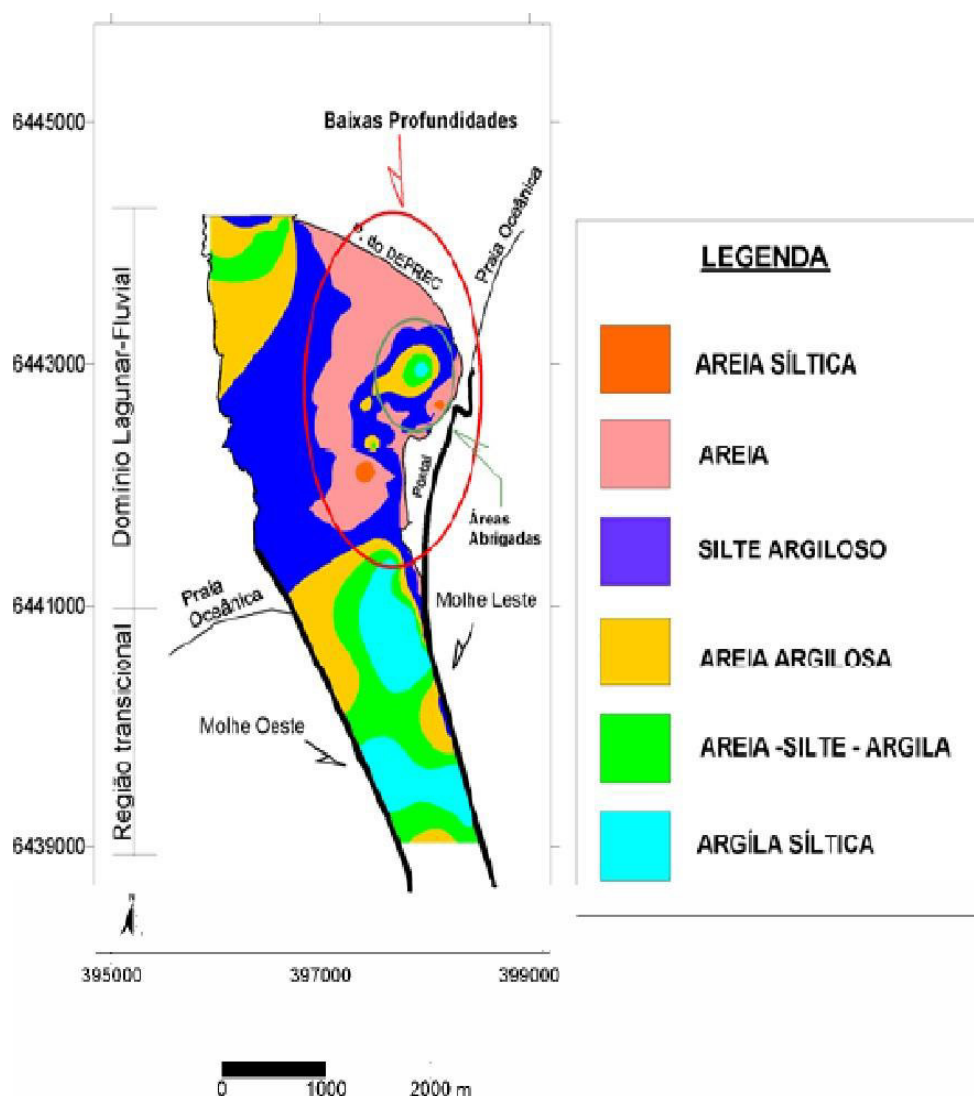


Figura 3.5. Zoneamento hidrodinâmico e identificação das faces sedimentares na região da desembocadura da Lagoa dos Patos. (Fonte: Antiqueira e Calliari, 2005).

Segundo Granato (2005), a área compreendida entre a parte externa dos molhes e o Porto Novo, indicam a existência de cinco agrupamentos de amostras regionalmente distribuídas. A zona externa referente aos molhes do canal de Rio Grande é formada por areias, enquanto que nos bancos internos o material presente é um silte-arenoso.

A distribuição arenosa ingressa através do canal, até a altura da secção da Barra, junto ao molhe Oeste, marginada por silte-arenoso, similar ao dos bancos externos. Desde a 4ª secção, até a altura do Saco da Mangueira, tanto no canal como adjacências, o fundo é constituído por areia-siltica. Lateralmente, tem-se a coroa de Dona Mariana, caracteristicamente arenosa, com ocorrência secundária de lama. Desde o extremo sul da entrada do Saco da Mangueira, em direção a Porto Novo, o fundo muda de silte-arenoso para silte-argiloso na bacia do Porto Novo.

O Relatório de Sondagem Geológica, Geoquímica e Geotécnica (2000) apresenta a análise de testemunhos coletados ao longo do Canal de Acesso ao Porto do Rio Grande. Na figura 3.6. são apresentados os testemunhos coletados ao longo do Canal Interno, situado na margem do Superporto e na figura 3.7. a localização dos testemunhos apresentados.

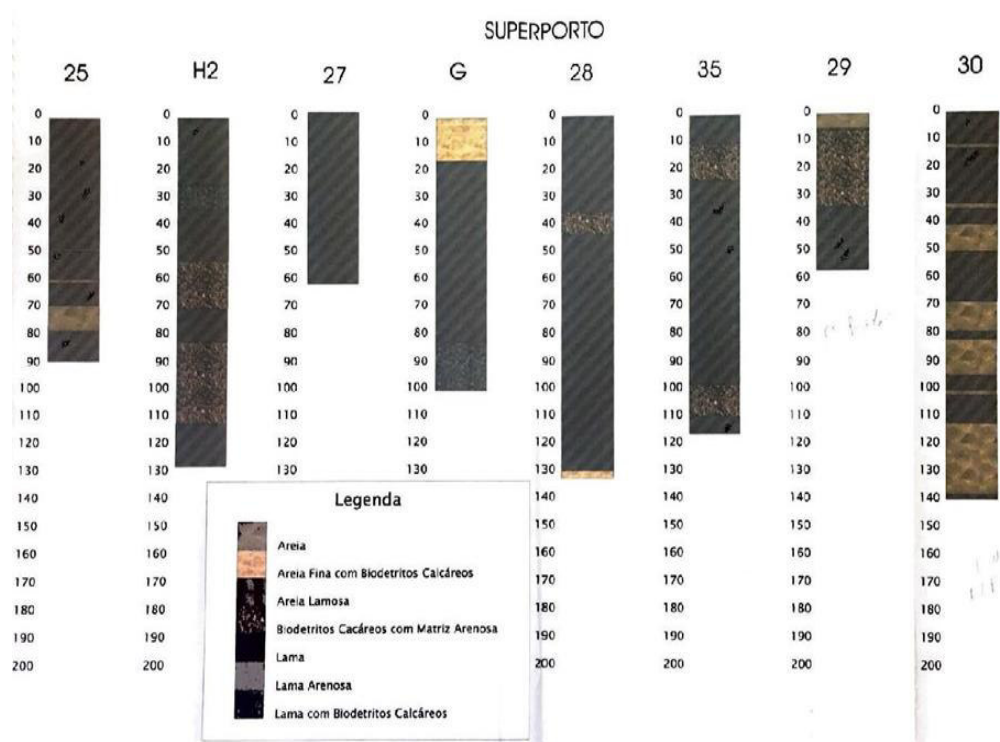


Figura 3.6. Testemunhos coletados ao longo do Canal Interno do Porto do Rio Grande.

Fonte: Relatório de Sondagem Geológica, Geoquímica e Geotécnica (2000).

PONTOS DE COLETA DE TESTEMUNHOS
Relatório de Sondagem Geológica, Geoquímica e Geotécnica (2000)

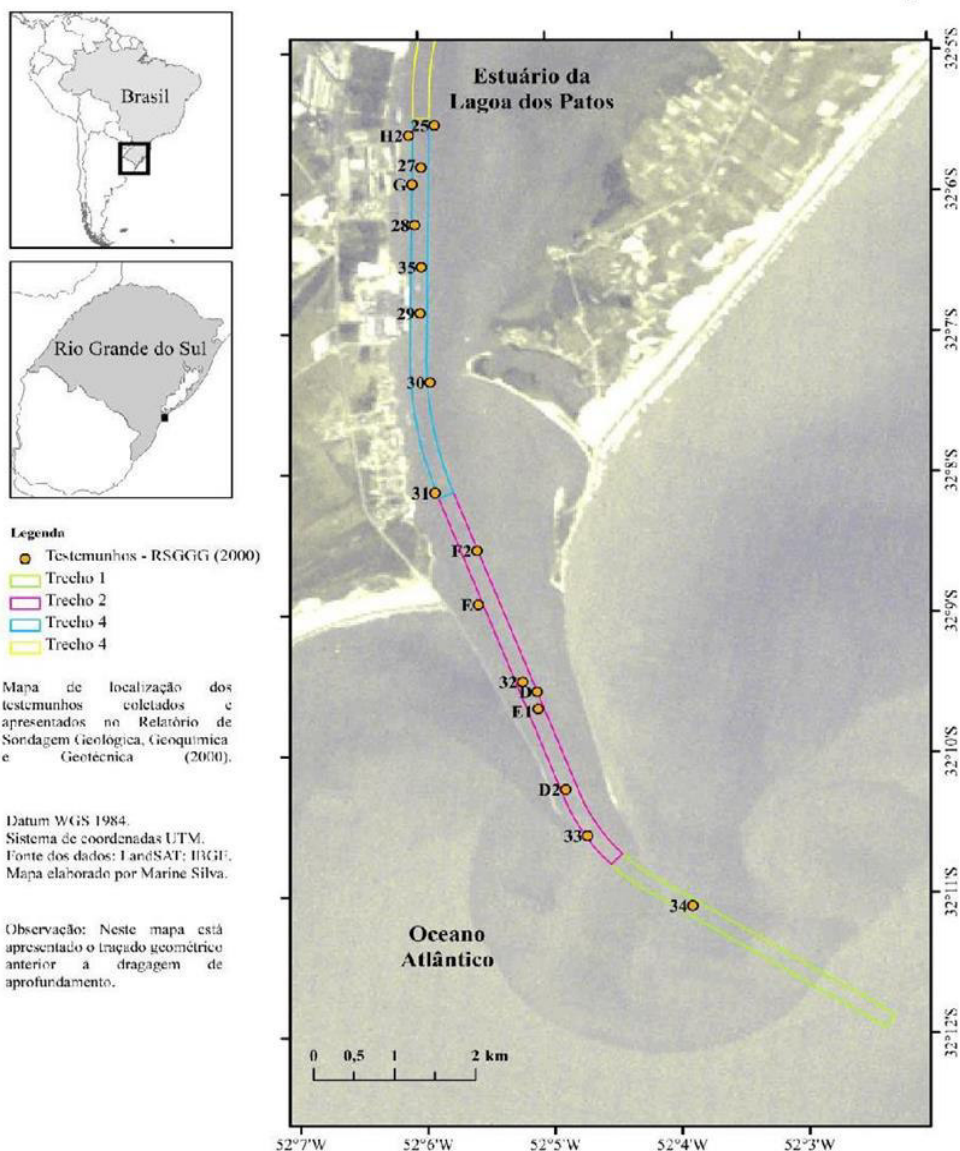


Figura 3.7. Mapa de localização dos testemunhos apresentados no Relatório de Sondagem Geológica, Geoquímica e Geotécnica (2000) e em Antiquiera e Calliari (2005).

4 | Materiais e métodos

No presente capítulo são descritos os materiais e os métodos utilizados nos ensaios empregados ao longo do trabalho experimental. Conforme ilustrado no fluxograma da figura 4. A primeira etapa consiste na coleta, preservação e caracterização geotécnica da amostra. A segunda etapa se baseia na dosagem ótima do polímero, escolha do polímero que melhor flocula com o sedimento e a escolha do geotêxtil. Portanto, alguns ensaios foram realizados como o teste de desaguamento rápido (RDT), procedimento padronizado por empresas especializadas em geossintéticos. A terceira etapa consiste em na montagem e instalação-piloto do ensaio com mini bolsas. Ao final dos ciclos de enchimento foram realizados os ensaios de ensaio de cone de queda e palheta de laboratório para análise da resistência do material.

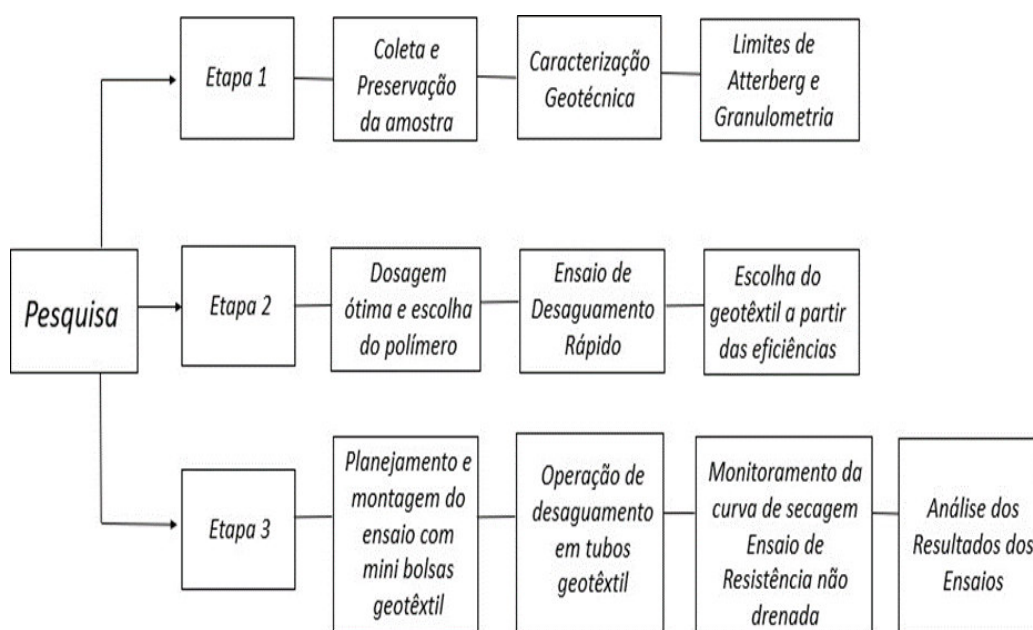


Figura 4. Fluxograma das etapas da pesquisa

4.1. Coleta e Preservação da amostra

A dragagem realizada entre início em outubro de 2018 e concluída em janeiro de 2020, compreende as áreas do Porto Novo, do Superporto e a saída do canal de acesso aos molhes. A dragagem de manutenção teve como finalidade dragar cerca de 16 milhões de metros cúbicos de sedimentos, os quais tiveram sua destinação final em alto mar em

uma área licenciada a uma distância a cerca de 30 km da costa. A figura 4.1 representa os trechos de retirada do material dragado nessa operação e o local de bota fora em alto mar.

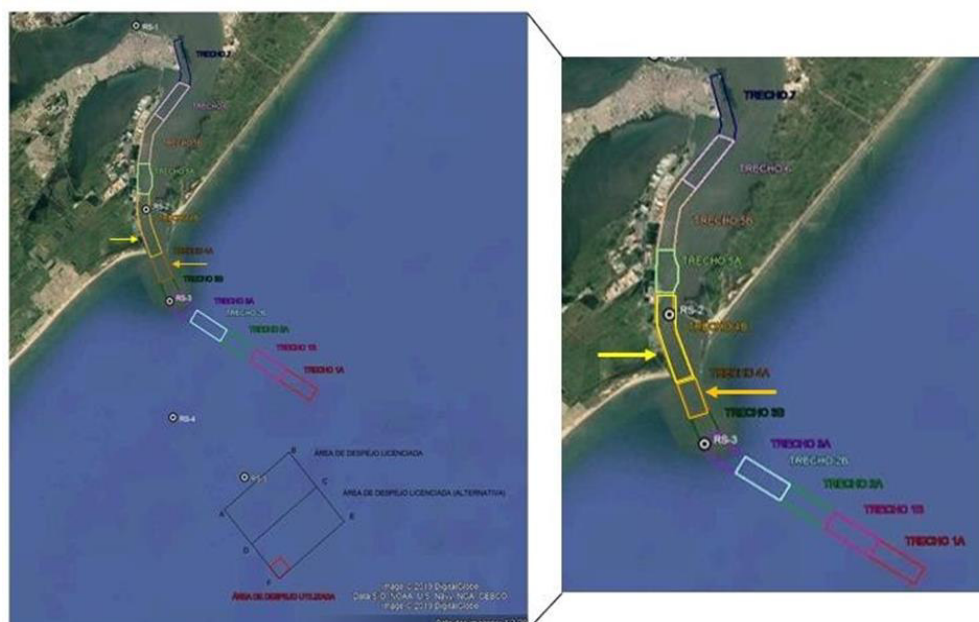


Figura 4.1. Pontos coleta de dragagem

O local de retirada do material analisado foi próximo ao trecho 4A e 4B da figura, as amostras foram retiradas do interior da draga quando a mesma se aproximava ao cais do Porto Novo para poder preencher os recipientes deixados para armazenagem do sedimento. As figuras 4.2 e 4.3 apresentam respectivamente a retirada do material e o transporte. O transporte do material para as dependências do Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG foi realizado com o auxílio de um caminhão da Marinha.

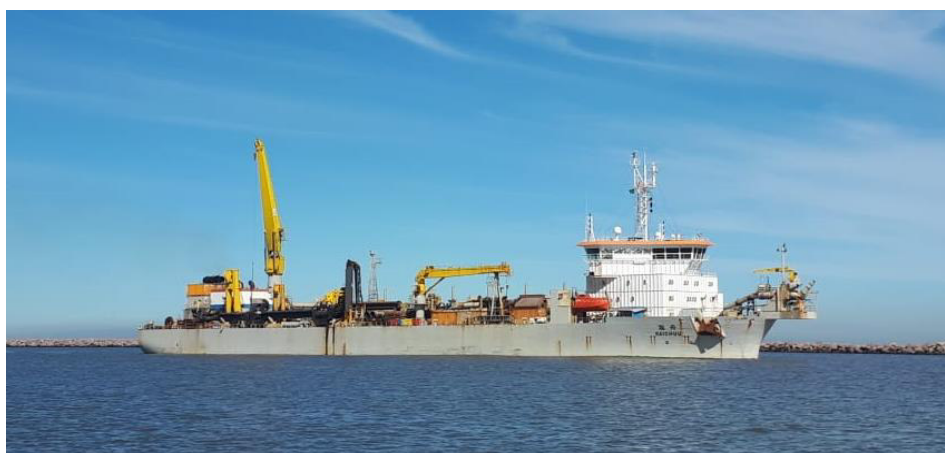


Figura 4.2. Draga utilizada para retirada dos sedimentos

Na figura 4.3, é apresentado o material sendo transportado em tonéis de metal. A amostra utilizada para este trabalho foi obtida em abril de 2019, a amostra apresentava-se em estado fluído, com predomínio de água do mar. A figura 4.4 apresenta o sedimento e seu armazenamento no laboratório em reservatório de fibrocimento.



Figura 4.3. Transporte dos sedimentos



Figura 4.4. Preservação da amostra: a) armazenamento do material; b) preservação do material com água salgada.

4.2. Índices Físicos

Os solos podem apresentar diferentes tipos de consistência em relação a quantidade de água que possuem. Essa consistência pode ser apresentada no estado

sólido, semi-sólido, plástico ou líquido. O teor de umidade entre os estados semi-sólido e plástico, é definido como sendo o limite de plasticidade (LP), e o teor de umidade entre os estados plásticos e líquidos representa o limite de liquidez (LL), já o teor de umidade no qual ocorre a transição do estado sólido para o semi-sólido é definido como limite de contração (LC).

Esses parâmetros são conhecidos como Limites de Atterberg, os quais permitem representar os teores de umidade do solo e sua consistência quando este é submetido a uma variação de umidade assim como a umidade limite que elas apresentam entre cada estado. A NBR 7180 (ABNT, 2016) descreve o ensaio para determinação do LP e a NBR 6459 (ABNT, 2016) descreve a determinação do LL através do uso do aparelho de Casagrande (figura 4.5). Entre estes dois limites está o Índice de Plasticidade (I_p) é calculado pela (Eq. 4). A partir do valor do I_p permite-se a classificação quanto à plasticidade do solo conforme a tabela 4.



Figura 4.5 - Aparelho de Casagrande.

$$I_p = LL - LP \quad ((4))$$

Tabela 4. Classificação dos solos de acordo com índice de plasticidade segundo Jenkins. (Fonte: Caputo, 2015).

Índice de Plasticidade	Classificação
$1 < I_p < 7$	Solo fracamente plástico
$7 < I_p < 15$	Solo medianamente plástico
$I_p > 15$	Solo altamente plástico
$I_p = NP$	Não plástico

Outro parâmetro importante obtido a partir destes ensaios é o Índice de atividade coloidal (I_a). O I_a indica o potencial da fração argilosa em conferir plasticidade ao solo. Também é utilizado como indicativo dos argilominerais presente no solo conforme a tab. 4.1 e é calculado a partir da Eq. (4.1).

$$I_a = \frac{I_p}{\%Argila} \quad ((4.1))$$

Tabela 4.1. Classificação dos solos de acordo com o índice de atividade coloidal. (Fonte: Pinto, 2006).

$I_a > 0,75$	Solo inativo – Indicativo de argila 1:1
$0,57 < I_a < 1,25$	Solo de atividade normal
$I_a > 1,25$	Solo ativo – Indicativo de argila 2:1

O teor de umidade foi obtido conforme indicado na NBR 6458/16 (ABNT 2016). As amostras foram homogeneizadas e secas em estufa a 60°C. O teor de umidade é a relação percentual entre o peso da água e o peso dos sólidos.

Para determinar a densidade relativa ou peso específico dos grãos do solo (γ_s) é realizado o ensaio do picnômetro. O ensaio foi realizado seguindo os passos conforme indicam a NBR 6458/16 (ABNT, 2016). Para este ensaio foi utilizado 50g de solo seco.

- Pesa-se o picnômetro vazio, seco e limpo;
- Coloca-se a amostra no picnômetro até cobrir, com excesso, a amostra;
- Coloca-se água destilada no picnômetro até cobrir, com excesso, a amostra;
 - Aquece-se o picnômetro, deixando a água ferver, pelo menos durante 15 minutos, para expulsar todo o ar existente entre as partículas do solo, agitando-se para evitar o superaquecimento;
- Deixa-se o picnômetro esfriar ao ambiente;
 - Completa-se o volume do picnômetro com água destilada, coloca-se em banho d'água à temperatura ambiente, arrolha-se o picnômetro e anota-se a temperatura do banho;
- Retira-se o picnômetro, enxuga-se e pesa-se com o conteúdo;
 - Retira-se todo o material de dentro do picnômetro, lava-se e encha-se completamente com água destilada.
- Arrolha-se e pesa-se o conjunto picnômetro mais água.

A determinação do teor de matéria orgânica foi executada pelo método de queima a 440°C descrito na norma técnica NBR 13600 (ABNT, 1996). A execução deste ensaio, também foi realizada no Laboratório de Engenharia Costeira (LEC) da Universidade Federal do Rio Grande, as amostras são previamente secas em estufa à temperatura de aproximadamente 110°C, a figura 4.6 apresenta a amostra utilizada para o ensaio.

Devendo permanecer no mínimo 24h, até apresentar constância de massa. A amostra é pesada antes e depois da queima total. Para determinar o teor de matéria orgânica, utilizou-se a Eq. (4.4):

$$MO = \left(1 - \frac{B}{A}\right) * 100 \quad ((4.4))$$

Onde:

MO = teor de matéria orgânica;

B = massa da amostra queimada em temperatura de 440°C;

A = massa da amostra seca a estufa à temperatura de 110°C;



Figura 4.6 - Amostra para matéria orgânica.

O teor de umidade foi obtido conforme indicado na NBR 6458/16 (ABNT 2016). As amostras foram homogeneizadas e secas em estufa a 60°C. O teor de umidade é a relação percentual entre o peso da água e o peso dos sólidos.

4.3. Análise Granulométrica

Para obter os parâmetros geotécnicos da amostra é essencial que seja realizada primeiramente a análise granulométrica dos grãos, onde é possível determinar o tamanho das partículas presentes no solo, obtendo como produto final a curva de distribuição granulométrica. Segundo Braja (2011), são utilizados dois métodos para encontrar a distribuição do tamanho dos grãos do solo: (1) Ensaio de peneiramento e (2) Ensaio de sedimentação.

Neste trabalho para a análise granulometria do solo foi realizado o ensaio de sedimentação e peneiramento, conforme descrito na NBR 7181 (ABNT, 2016), e também pelo método da pipeta. Os métodos comumente adotados utilizam os princípios da Lei de Stokes.

4.3.1. Ensaio de peneiramento

O ensaio de peneiramento pode ser dividido em peneiramento grosso e peneiramento fino. Ambos são baseados em agitar uma amostra do solo em um conjunto de peneiras que possuem furos progressivamente menores. Portanto, o solo é peneirado em uma pilha de peneiras com aberturas de malha de tamanho decrescente, do topo para o final.

Esse processo serve para determinar as frações de areia (grossa, média e fina). O ensaio é realizado através dos seguintes passos:

- Secar uma quantidade de solo na estufa;
- Quebrar torrões em partículas menores (destorroar);
- A amostra é colocada no conjunto de peneiras;
- Coloca-se o conjunto de peneiras com uma sequência padronizada em um agitador eletromagnético, por 5 min;
- O material retido em cada uma das peneiras é pesado separadamente.

No peneiramento grosso passa-se o material destorroadado na peneira nº 10 (2,0 mm). Já o processo chamado de peneiramento fino é realizado após terminadas as leituras do ensaio de sedimentação e a peneira com a menor abertura deve ser a peneira nº 200 (0,074 mm). No final do processo calculam-se as porcentagens do material retido em cada uma das peneiras, em relação ao peso da amostra total seca.

4.3.2. Ensaio de sedimentação

O ensaio de sedimentação é baseado na Lei de Stockes, segundo a qual partículas em meio aquoso depositam-se com velocidades proporcionais aos seus diâmetros, ou seja, o

princípio da sedimentação dos grãos de solo na água. A figura 4.7 representa o processo de análise granulométrica por sedimentação e a ordem em que ocorre o ensaio laboratorial.

Para a realização das leituras durante o ensaio mergulha-se o densímetro na proveta com o material, fazendo leituras correspondentes aos tempos de 30 segundos, 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos e 1, 2, 4, 8 e 24 horas (anotando-se as temperaturas). Após a última leitura, o material é preparado para o ensaio de peneiramento fino. O ensaio é realizado através dos seguintes passos:

- Retira-se uma certa quantidade de solo passante na peneira nº 10 (2,00 mm), cerca de 70 g, no caso de solos argilosos ou 120 gramas, no caso de solos arenosos e siltosos.
- Coloca-se essa quantidade em um recipiente reagindo com 125 ml de hexametáfosfato de sódio por no mínimo 12 horas.
- Após as 12 horas, transfere-se toda a mistura para o copo do dispersor, removendo-se com água destilada.
- Submete-se a mistura à ação do dispersor, por aproximadamente 15 minutos
- Tapa-se a boca da proveta com a palma da mão e com o auxílio da outra, agita-se, durante 1 minuto
- Imediatamente após a agitação, coloca-se a proveta sobre uma bancada
- Dispara-se o cronômetro e anota-se à hora exata do início da sedimentação

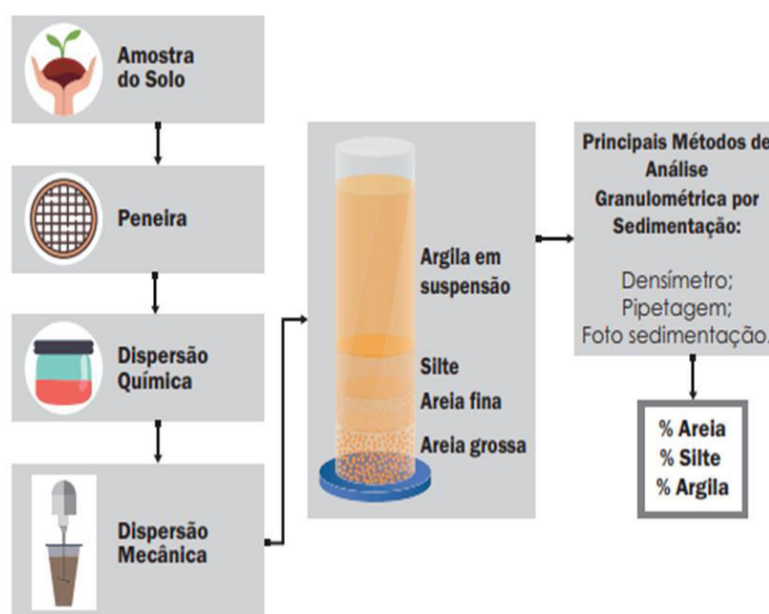


Figura 4.7. Ilustração do ensaio de sedimentação.

(Fonte: Martins,2019)

4.3.3. Método da pipeta

O método da pipeta é bastante utilizado na área de sedimentologia, como a maior parte dos solos possui uma distribuição granulométrica heterogênea, é necessário combinar métodos de análise para a sua completa caracterização da amostra. É um método indireto baseado nas mudanças de concentração de partículas em uma suspensão originalmente uniforme, pela tomada de várias amostras com uma pipeta (em intervalos de tempo definidos), em profundidade que corresponde à do material que acabara de sedimentar naquele momento (SUGUIO, 1973). Esta análise sedimentar foi realizada no Laboratório de Engenharia Costeira (LEC) da Universidade Federal do Rio Grande.

Após a amostra ser identificada, ela foi transferida para uma bacia de alumínio na qual a amostra é lavada com água corrente, conforme apresentado na figura 4.8. Esse processo, foi repetido algumas vezes, e consiste em deixar o solo imerso em água e em repouso por algum tempo até que os grãos se depositem no fundo, ocorrendo assim o processo de decantação. Este procedimento tem como objetivo de remoção dos sais solúveis que podem estar contidos na amostra. Ao término da lavagem dos sedimentos, a amostra é levada para estufa, a uma temperatura de 60°C, por um período de 3 dias.

Com a amostra seca, é preciso destorroar o solo, e uma sub amostra de aproximadamente 30 gramas é selecionada para a execução dos ensaios. Este material é transferido para um becker onde é adicionado 75 ml de água destilada e 50 ml de dispersante (defloculante), o mesmo indicado pela norma da ABNT para o ensaio de sedimentação.



Figura 4.8. Amostra após ser lavada com água corrente

Após 24 horas em contato com a solução dispersante, a mistura é lavada com água destilada (figura 4.9) sobre uma peneira de abertura 1/16 mm (0,062 mm). O material passante é caracterizado como sedimento fino e destinado ao processo de pipetagem e o material que ficou retido na peneira, é caracterizado como sedimento grosseiro. Assim, com os sedimentos finos e grosseiros devidamente separados, segue as análises de forma independente.



Figura 4.9. Passagem do material nas peneiras

Este método consiste basicamente em agitar a solução, de modo que todas as partículas fiquem distribuídas ao longo da solução. E posteriormente um período de repouso, espera-se que as partículas que tenham uma velocidade de queda maior que a razão da profundidade pelo tempo (h/t) já terão passado esta profundidade h no tempo t . Para a análise de sedimentos finos pertencentes à amostra, preencheu-se a proveta com água destilada de modo a completar 1 litro (figura 4.10), a qual ficou sob uma bancada fixa sem sofrer influências do meio. Posteriormente, com o auxílio de um êmbolo, agitou-se o material da proveta, mergulhando o mesmo 10 vezes.

A coleta do material em suspensão se deu após um período pré-definido como o auxílio de uma pipeta, a qual foi mergulhada a profundidade pré estabelecida que se dá em função do tempo de coleta, vale ressaltar que a profundidade que a pipeta é mergulhada é medida a partir da superfície da água. O material coletado foi depositado

em um becker o qual foi pesado antes do processo de agitação da amostra e posteriormente colocado na estufa, ao fim de cada coleta agitava-se novamente a solução para que a nova coleta fosse feita. Os beckers foram retirados da estufa e posteriormente pesados, de modo que o peso da amostra foi determinado a partir da subtração do peso do becker menos o peso do becker com a amostra seca, a figura 4.11, apresenta o becker de coleta com o material que foi levado para a estufa. Assim foi possível determinar o peso do material em cada uma das coletas.



Figura 4.10 - Método da Pipeta



Figura 4.11 – Beckers para coleta do material.

Para a análise granulométrica de sedimentos grosseiros, os sedimentos de cada pipeta passaram por peneiramento, conforme descrito anteriormente, e o material retido na peneira 0,062mm foi depositado em um becker e posteriormente colocado em estufa. A tabela 4.2 apresenta o tempo e profundidade a qual a pipeta deve ser mergulhada.

Tabela 4.2. Tabela de referência para o processo de pipetagem.

Pipetagem	Diâmetro (mm)	Prof. de Pipeta (cm)	Tempo de sedimentação	Escala Phi
1 ^a	1/32	10	1'56"	5 Silte
2 ^a	1/64	10	7'44"	6 Silte
3 ^a	1/128	10	31'00"	7 Silte
4 ^a	1/256	10	2h3'	9 Argila
5 ^a	1/512	10	8h10'	9 Argila
6 ^a	1/1024	5	16h21'	10 Argila
7 ^a	54058	5	65h25'	11 Argila
8 ^a	-	-	-	12 Argila

4.3.4. Curva de distribuição granulométrica

A curva de distribuição granulométrica mostra a variação do tamanho das partículas presentes em um solo, e o tipo de distribuição de partículas de diversos tamanhos. As percentagens de partículas de pedregulho, areia, silte e argila podem ser obtidas a partir da curva de distribuição granulométrica. A partir da curva de distribuição granulométrica é possível determinar alguns parâmetros, tais como:

- Diâmetro efetivo (D_{10}) indica o diâmetro (mm) onde passa apenas 10% em massa da amostra. É uma boa medida para estimar a condutividade hidráulica e drenagem através do solo;

- Coeficiente de uniformidade (C_u), serve para ver a distribuição do tamanho das partículas do solo e é calculado a partir da Equação 4.3:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad ((4.3))$$

Onde:

D_{60} - Diâmetro do grão correspondente a 60 % mais fino;

D_{10} - Diâmetro do grão correspondente a 10 % mais fino;

Valores próximos a 1 indicam curva granulométrica quase vertical, com os diâmetros variando em um intervalo pequeno, enquanto que, para valores maiores a curva granulométrica irá se abatendo e aumentando o intervalo de variação dos diâmetros. Pode-se também inferir que solos que apresentam $C_u < 5$ são denominados uniformes e com $C_u > 15$ desuniformes. Para um solo bem graduado, é indicado que o valor do coeficiente de curvatura, deva estar entre 1 e 3 e solo mal graduado acima de 3.

Coeficiente de curvatura (C_c) é definido pela equação 4.4:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad ((4.4))$$

Onde:

D_{30} - diâmetro do grão correspondente a 30 % mais fino.

4.3.5. Granulometria a laser

Esta análise foi realizada no Laboratório de Engenharia Costeira (LEC) da Universidade Federal do Rio Grande. O granulômetro a laser (figura 4.12) é um aparelho que busca agilizar a determinação do tamanho das partículas do solo. A metodologia que foi 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. O esquema de funcionamento do equipamento é representado na figura 4.13.



Figura 4.12. Granulômetro a laser

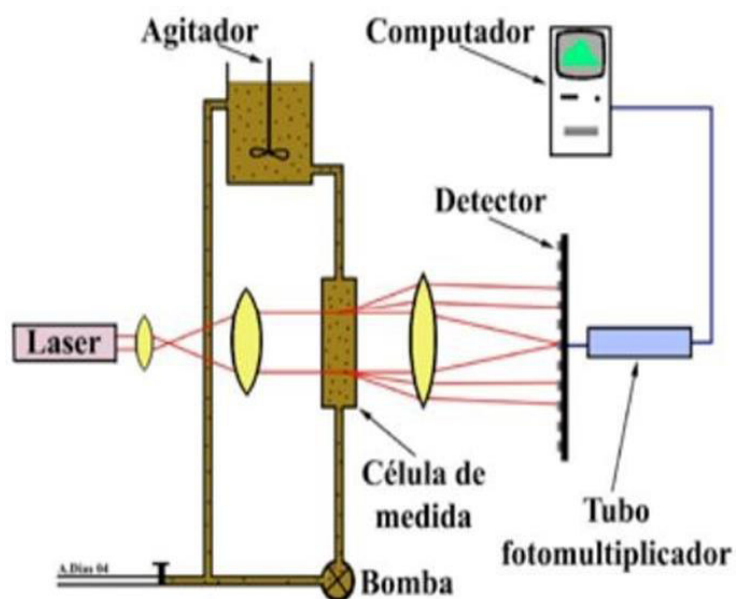


Figura 4.13 - Esquema de funcionamento de granulômetro a laser.
(Fonte: Dias, 2004)

4.4. Material Geotêxtil utilizado

Na Tabela 4.3 são apresentadas as características dos 3 geotêxteis utilizados no estudo. As especificações técnicas foram fornecidas pela empresa Huesker (2019).

Tabela 4.3 - Características dos Geotêxteis

Propriedades	Método de teste	GTX 1 SoilTain PP 105/105 HDW	GTX 2 SoilTain PP 105/105 DW	GTX 3 SoilTain PP 55/55 DW
Matéria Prima	-	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno
Massa por unidade de área	NBR ISO 9.864	440 g/m ³	440 g/m ³	270 g/m ³
Densidade	-	1,38	1,38	0,92
Velocidade de fluxo nominal	NBR ISO 11058	55x10 ⁻³	20x10 ⁻³	15x10 ⁻³
Abertura de filtração	NBR ISO 12956	0,40 mm	0,20 mm	0,20 mm
Cor	-	Preto	Preto	Preto
Resistência à tração nominal	NBR ISO 10319	105 kN/m	105 kN/m	55 kN/m
Direção transversal	NBR ISO 10319	105 kN/m	105 /m	55KN/m

4.5. Seleção do Polímero e dosagem ótima

Durante o estudo foram utilizados 10 diferentes polímeros, sendo eles catiônicos e aniônicos, em diferentes concentrações e dosagens, tendo como objetivo de verificar a necessidade e os efeitos do uso destes para o condicionamento dos sedimentos, fornecidos pela empresa Kemira. Os polímeros foram classificados de A à J, e na Tabela 4.4 é apresentado as principais características de cada polímero.

Tabela 4.4 – Características dos polímeros.

	Polímero	Característica Iônica	Estado Físico	Densidade Aparente	pH
A	SUPERFLOC C-496HMW	Catiônico	Sólido, cristalino, pó	650-850 kg/m ³	3-5 (0,5%)
B	SUPERFLOC A-120HMW	Aniônico	Sólido, granular	750-950 kg/m ³	6-8 (0,5%)
C	SUPERFLOC C-492HMW	Catiônico	Sólido, cristalino, pó	750 g/l	3-5 (0,5%)
D	SUPERFLOC A-130HMW	Aniônico	Sólido, granular	650-850 kg/m ³	7-9 (0,5%)
E	SUPERFLOC A-150HMW	Aniônico	Sólido, pó	650-850 kg/m ³	-
F	SUPERFLOC C-498HMW	Catiônico	Sólido, cristalino, pó	750 kg/m ³	3-5 (0,5%)
G	SUPERFLOC A-100HMW	Aniônico	Sólido, granular	650-850 kg/m ³	-
H	SUPERFLOC A-110HMW	Aniônico	Sólido, pó	750-950 g/l	5-7
I	SUPERFLOC A-137HMW	Aniônico	Sólido, pó	650-850 kg/m ³	5-8 (0,5%)
J	SUPERFLOC C-494HMW	Catiônico	Sólido, cristalino, pó	750 g/l	3-5 (0,5%)

Na preparação da solução polimérica, foram testadas duas concentrações de 0,1% e 1% para todos os polímeros, porém a concentração de 1% apresentou uma viscosidade muito grande e difícil de trabalhar. A solução de polímero a 0,1% (1 g de polímero em 1000 mL de solução), apresentou uma boa viscosidade o que facilitou na hora de dosar. Sendo assim respeitando a dosagem de 0,1%, onde a solução foi homogeneizada

manualmente até que o polímero apresentasse boa consistência e sem flutuação na água. Para padronizar o preparo da solução seguiu-se os seguintes passos:

- Pesar 0,5 g de polímero em pó em um recipiente seco e limpo, em uma balança semi-analítica com resolução de 0,0001 g.
- Reservar 500 mL de água destilada em um becker.
- Despejar com cuidado e lentamente o polímero na água destilada.
- Misturar manualmente até a solução apresentar consistência homogênea.

Todos os 10 polímeros foram testados em 5 faixas de concentração de ppm e homogeneizados com o sedimento, a fim de encontrar a dosagem ótima de cada polímero, as faixas de dosagem foram de 100, 130, 160, 190 e 210 ppm. Utilizou-se a Equação 4.6, e exemplificado logo a seguir na Equação 4.7, apresentando a relação das soluções, para se estabelecer o volume da solução polimérica para o volume de sedimento em função de cada concentração de dosagem estabelecida.

$$C1 \times V1 = C2 \times V2 \quad ((4.6))$$

$$\begin{aligned} 0,1\% \times V1 &= 100 \times 0,5 \\ V1 &= 0,05 \text{ L} \end{aligned} \quad ((4.7))$$

Onde:

C1 = Concentração do polímero na solução polimérica (mg/L);

V1 = Volume da solução polimérica (L);

C2 = Concentração do polímero na solução de sedimento (ppm);

V2 = Volume da solução de sedimento (L).

4.6. Ensaio de Desaguamento Rápido

Para o teste, foi utilizado um cone de vidro para apoiar os cones do geotêxtil, uma proveta graduada para coletar o efluente no momento da drenagem, uma balança e um anel cilíndrico para fixar o cone, conforme é possível observar na Figura 4.14. Os cones do geotêxtil têm 30 cm de diâmetro. O ensaio foi dividido em com e sem polímero e realizado em triplicata, portanto, os cones foram identificados como 1C, 2C, 3C, 1S, 2S e 3S respectivamente. A escolha do polímero utilizado foi a partir do polímero que melhor flocculou com o sedimento em uma menor concentração na solução de sedimento.



Figura 4.14. Ensaio RDT

Foi estipulado um tempo de realização igual a 30 minutos para o teste completo. Conforme Tominaga (2010) indicou que o teste era finalizado quando a vazão de desaguamento ficava inferior a 1 gota a cada 20 segundos. Para testes de cone com polímero, foi utilizado um volume de sedimentos de 336 ml e foram adicionados 64 ml de solução de polímero, totalizando uma amostra de 400 ml. Para testes sem polímero, foi adicionado em um becker um volume igual a 336 ml de sedimento e 64 ml de água destilada, a fim de manter uma padronização do volume no teste. Foi utilizado seringas descartáveis para realizar a precisão da dosagem. O ensaio de desaguamento rápido foi organizado de acordo com a sequência de procedimentos descritos a seguir:

- Levar os cones de geotêxteis a estufa, com no mínimo duas horas de antecedência da realização do ensaio, a aproximadamente 60° C, para remover a umidade dos mesmos;
- Após a retirada dos cones da estufa eles são pesados na balança de precisão e posicionados sobre o cone de vidro;
- Homogeneizar o sedimento;
- Retirar uma sub amostra antes do material ser colocado em cada cone;
- As sub amostras foram todas pesadas, identificadas e levadas a estufa;

Ao final do teste, todo o material foi pesado, tanto a amostra do cone, denominada torta, para análise de sólidos, umidade e eficiência de polímeros, bem como o material da proveta para análise de efluentes, passagem de sólidos (percolados). Todo o material foi

levado a estufa de 100 ° C por pelo menos 24 horas para obter os resultados dos valores das amostras secas.

O volume de efluente proveniente do deságue foi registrado a cada 30 segundos por 5 minutos, e depois de 5 em 5 minutos até 30 minutos, para realização da curva mássica, que é a relação entre volume do efluente coletado e tempo de deságue.

4.7. Determinação da vazão de solução polimérica no (SCR)

A quantidade de polímero a ser dosada na lama para promover a floculação para ser utilizada no enchimento do sistema fechado de geotêxtil pode ser determinada por meio da Equação 4.8 que relaciona a vazão de e a solução do polímero e a dosagem ótima obtida em laboratório.

$$Q_{pol} = Q \cdot \frac{D}{C} \quad ((4.8))$$

Onde:

Q_{pol} = vazão de aplicação da solução de polímero (l/s);

Q = vazão de enchimento do fluido (l/s);

C = concentração da solução de polímero (mg/l);

D = dosagem ótima (mg/l).

4.8. Ensaio em bolsa de pequena dimensão

Segundo Santos (2018), o ensaio com bolsa fechada de pequenas dimensões foi desenvolvido em 2009 pelo Instituto de pesquisa em geossintético (Geosynthetic Research Institute - GRI) que denominou o ensaio de pillow test devido ao formato de travesseiro dessa mini-geoforma. A norma ASTM D7880 (2013) descreve detalhadamente a metodologia deste ensaio, ele consiste no preenchimento de bolsas de pequenas dimensões de geossintéticos com o sedimento que se deseja desaguar.

Este ensaio determina a capacidade de desagramento e retenção do sedimento. Para o condicionamento da lama com o tipo e a quantidade de polímero definida nos testes anteriores de RDT. O sistema foi montado nas dependências do laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG. Os materiais utilizados, para a realização do experimento foram (figura 4.15):

Uma estrutura metálica que serve de suporte;

- Um estrado com uma tela drenante que servirá de base para a mini bolsa geotêxtil;
- Um tubo pvc de 50mm com 110 cm de comprimento;
- Funil;
- O geobag;
- Um registro borboleta;
- Um recipiente plástico para armazenamento do líquido percolado;
- Uma balança de piso que possui um sistema automático de aferição e registro da massa do líquido desaguado;
- Uma régua para medição da altura de enchimento da bolsa;
- Cronômetros para monitorar os procedimentos de enchimento, desaguamento e coleta de amostras.



Figura 4.15 - Ensaio com bolsa fechada de pequenas dimensões

Após a homogeneização da amostra o sedimento foi colocado no recipiente acoplado ao tubo, o registro então foi aberto a 45° (para que o material não descesse muito rápido

pelo tubo) e durante a queda o restante do material no segundo balde foi colocado no recipiente. O tempo de enchimento foi controlado para todos os ensaios.

Foram realizados 3 (três) testes, denominados BAG1, BAG2 e BAG3. No ensaio BAG1, apenas um ciclo de enchimento foi feito com o material sem o uso de polímero. Para o BAG2 foi efetuado um ciclo de enchimento com o solo previamente tratado com polímero. E por fim, no ensaio BAG3, três ciclos de enchimento foram feitos utilizando o material com polímero. foi utilizado para e no último teste (BAG3) foram feitos três ciclos contínuos de enchimento, totalizando 90 litros.

As leituras referentes ao volume percolado foram realizadas após 1, 5, 15, 30, 60, 120 min e 24 horas do início do processo de deságue. No terceiro teste onde foram realizados três ciclos, os enchementos ocorreram no intervalo de após 72 horas e 96 horas, após o primeiro enchimento. O enchimento do sistema ocorreu de forma manual conforme indicado pela norma. Durante os 7 dias de secagem ao ar livre do material foram coletadas 10 amostras de umidade em pontos distintos a fim de gerar a curva de umidade para este período.

4.9. Ensaios de Cone de queda

Este ensaio do cone de queda é utilizado internacionalmente para determinação do limite de liquidez (BS 1377, 1990). No Brasil o uso do cone de queda para determinação do LL não é normatizado, sendo utilizado para este fim somente o ensaio do Aparelho de Casagrande, nesta pesquisa o cone será utilizado para estimativa de S_u . O ensaio consiste em posicionar um cone metálico na superfície da amostra soltá-lo em queda livre (figura 4.16).

$$S_u = K * Q / H^2 \quad ((4.9))$$

Onde:

Q é o peso do cone;

H é a medida da penetração do cone no solo;

K é uma constante, que depende do ângulo do cone, da rugosidade da sua superfície e do tipo do solo.



Figura 4.16- Ensaio cone de queda. a) posicionamento do cone na amostra; b) realização do ensaio.

4.10. Ensaio de palheta de laboratório

O ensaio de palheta de laboratório é uma versão em menor escala do ensaio de palheta executado em campo, também conhecido como Vane Test. Esse ensaio serve para medição da resistência ao cisalhamento não drenada do solo. Muito utilizado para solo com características de granulometria finas, argilosos, de baixa capacidade de carga e alta compressibilidade. O ensaio é realizado de forma rápida, não havendo tempo para drenagem da amostra, permitindo obtenção da a resistência não drenada do solo, S_u .

O ensaio foi realizado no laboratório de Geotecnia e Concreto da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, este possui palheta com 12,7 mm de altura e 12,7 mm de diâmetro (figura 4.17). Este procedimento só foi possível de ser realizado no terceiro ensaio com mais de um ciclo de enchimento.

Conforme indicado por Santos (2018), o ensaio deve ser realizado em duplicata em tortas retidas nos sistemas geotêxtil fechado. Para utilização deste ensaio, assume-se que o solo é isotrópico e que a distribuição das tensões é uniforme. Assim, o cálculo da resistência não drenada das argilas é dado pela Eq. (4.10):

$$S_u = Kmv * \frac{\theta f}{4,29} \quad ((4.10))$$

Onde

S_u é a resistência não drenada do solo

θf é o máximo ângulo de torção da mola medido no ensaio

O valor de Kmv é gerado a partir das curvas de calibração da mola fornecidas pelo fabricante do equipamento (tab. 4.5).

Tabela 4.5. Constante de calibração das molas. (Fonte: Viatest)

Mola nº	Kmv (N mm/grau de torção)
1	3,4783
2	2,5259
3	1,7000
4	1,18300

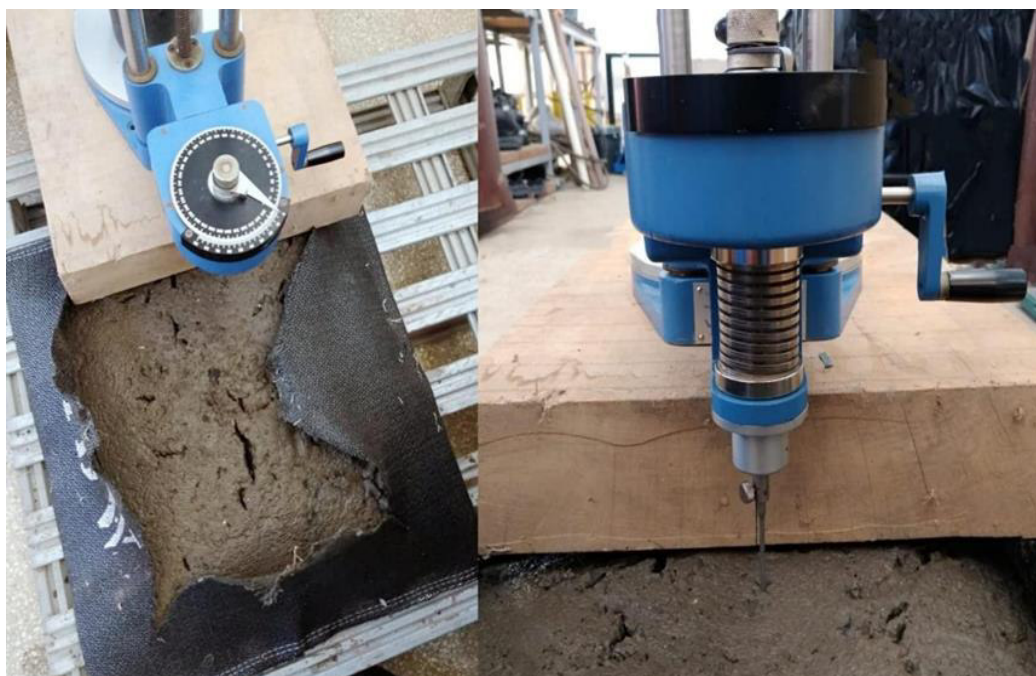


Figura 4.17 - Ensaio de palheta de laboratório

4.11. Ensaio de Difração de Raio X – DRX

As amostras submetidas aos ensaios de difração de raios X foram analisadas no intervalo de ângulo 2θ de 2° a 60° ao passo de $0,02^\circ$ por segundo. Este intervalo é definido para difratar minerais de alto ângulo e os de baixo ângulo (argilominerais).

A análise por difração de raios X foi realizada em um difratômetro de raios X marca Siemens (BRUKER AXS), modelo D-5000 (Θ - 2Θ) equipado com 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 (figura 4.18).



Figura 4.18 - Difratômetro de Raios X com câmara para temperaturas criogênicas, Bruker, D8 Advance. (Fonte: CEME SUL - FURG)

4.12. Microscopia de varredura eletrônica (MEV)

Os ensaios foram executados no Centro de Microscopia Eletrônica da Zona Sul - FURG (CEME-SUL). 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 para não ter

interferência nos resultados, e colocar em cima de um amostrador, conforme a figura 4.19.

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 (figura 4.20). Após esse procedimento a amostra é colocada no Microscópio Eletrônico de Varredura, em modo alto e baixo vácuo, Jeol, JSM - 6610LV, (figura 4.21).



Figura 4.19- Preparo da amostra para o procedimento do MEV.

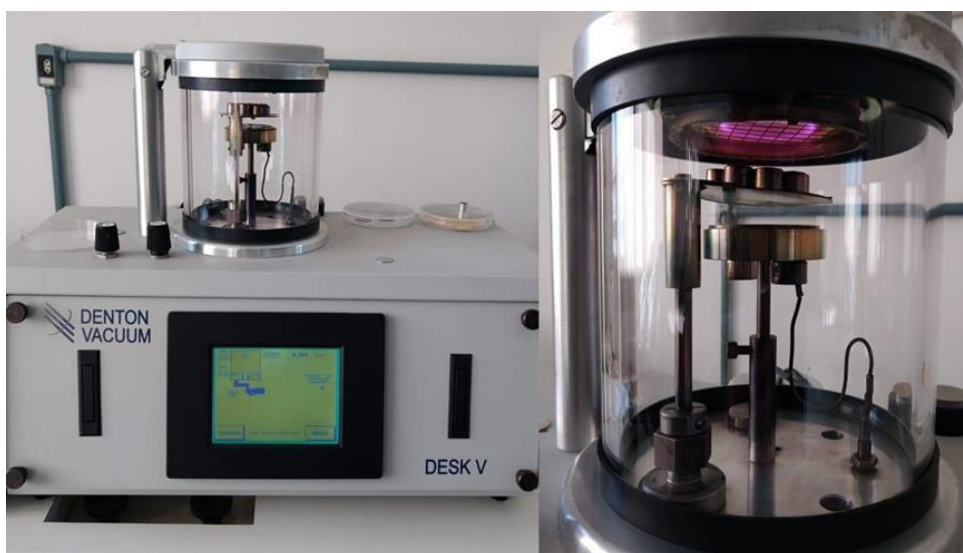


Figura 4.20- Amostra sendo banhada com ouro

Foram analisadas 4 amostras, sendo elas: Amostra 1 (amostra original), Amostra 2 (amostra com polímero), Amostra 3 (amostra de areia retida no bag durante o ensaio de

desaguamento), Amostra 4 (amostra de argila retida no bag durante o ensaio de desaguamento).

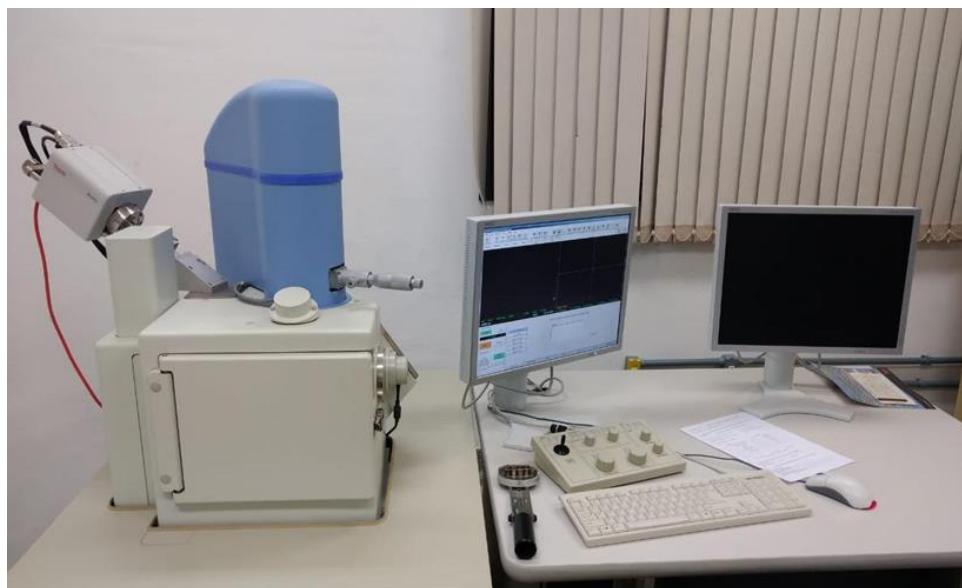


Figura 4.21- Microscópio Eletrônico de Varredura, em modo alto e baixo vácuo, Jeol, JSM - 6610L

5 | Resultados

Este capítulo apresenta a discussão dos resultados dos ensaios executados na presente pesquisa, como: classificação granulométrica, escolha e dosagem dos polímeros, teste RDT, escolha do geotêxtil e vazão polimérica, ensaio em bolsa de pequena dimensão, microscopia de varredura eletrônica (MEV), difração de raio x, e avaliação da resistência não drenada do material confinado.

5.1 Caracterização do sedimento

Os percentuais de cada fração granulométrica de acordo com a classificação da NBR 6502 (ABNT,1995) encontrados na amostra são de pedregulho 0%, areia grossa 3,99%, areia média de 2,84%, areia fina de 58,38%, silte de 10,78% e de argila 26,01%. O teor de matéria orgânica encontrado nos sedimentos foi de 1,45% e o peso específico real dos grãos apresentou valor médio igual a $24,19 \text{ kN/m}^3$. Através da HRB, o solo foi classificado como solo A-7- 6 (4). A distribuição granulométrica é apresentada na figura 5 foi determinada através dos ensaios de sedimentação e peneiramento conforme indicado pela norma NBR7181.

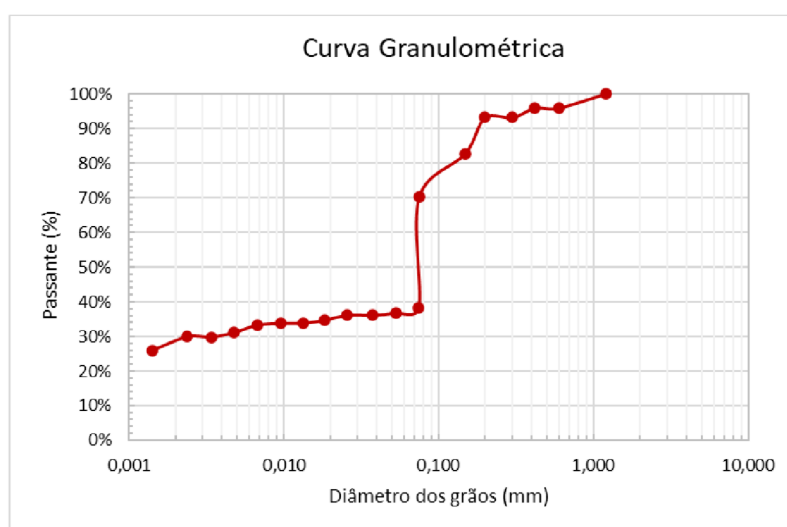


Figura 5. Curva granulométrica com defloculante.

A partir dos resultados da análise granulométrica e de plasticidade foi possível realizar a classificação do solo através dos métodos do Sistema Único de Classificação do Solo (SUCS) e do Sistema de Classificação HRB (AASHTO, 1973). Sendo o material

classificado como solo “SC”, por meio do SUCS, estando acima da linha A e enquadrado como areia argilosa. Uma das principais funções do sistema de confinamento de resíduo é o desaguamento eficaz da água do sedimento, para isso quanto maior o tamanho do grão melhor a permeabilidade do material. Assim, a fim de entender influência do defloculante no comportamento do solo foram promovidos, além dos procedimentos de ensaio preconizados pela norma, ensaios de sedimentação utilizando somente o sedimento e água salgada do local.

Logo no início do ensaio de sedimentação foi possível notar que ambas amostras no mesmo período de leitura apresentaram comportamento diferente conforme mostra a figura 5.1. O ensaio com água salgada apresentou maior velocidade no processo de sedimentação, tendo em vista que sem o defloculante, os grãos menores não foram separados dos seus grumos, ficando mais pesados e se depositando mais rápido. A curva granulométrica apenas com água salgada apresentou um comportamento bastante semelhante os ensaios com defloculante.

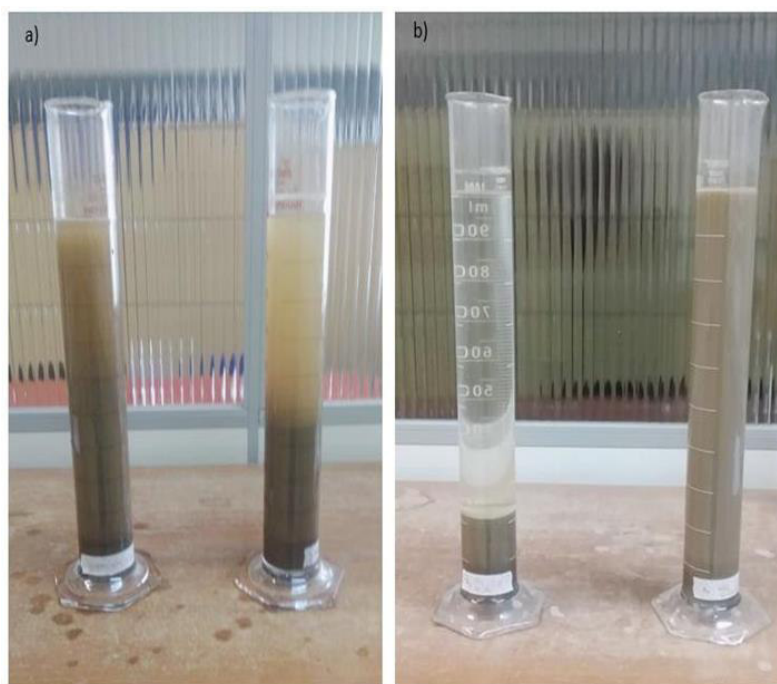


Figura 5.1. Ensaio de sedimentação. a) com defloculante; b) com água salgada.

A figura 5.2 apresenta a curva granulométrica no ensaio com água salgada. Os percentuais das frações granulométricas para a amostra com água salgada também foram definidos de acordo com a classificação da NBR 6502 (ABNT,1995), sendo assim os valores encontrados nesta amostra são de pedregulho igual 0%, areia grossa igual à 0,59%,

areia média de 1,77%, areia fina de 60,85%, silte de 4,11% e de argila igual a 32,68%. Para este ensaio também foi realizada a classificação do solo através da HRB e SUCS.

De acordo com a HRB o sedimento analisado se enquadra como A6: solo argiloso, o que representa que o solo pode apresentar misturas argilo-arenosas. Já pela classificação da SUCS o mesmo esteve presente acima da linha A, e é considerado a partir de suas características de LL e IP como sendo um solo CL: argila pouco plástica. Portanto o resultado da HRB para ambas amostras apresenta a classificação como solo argiloso, variando entre A6 e A-7-6, porém pela SUCS o material apresentou uma variação entre SC e CL.

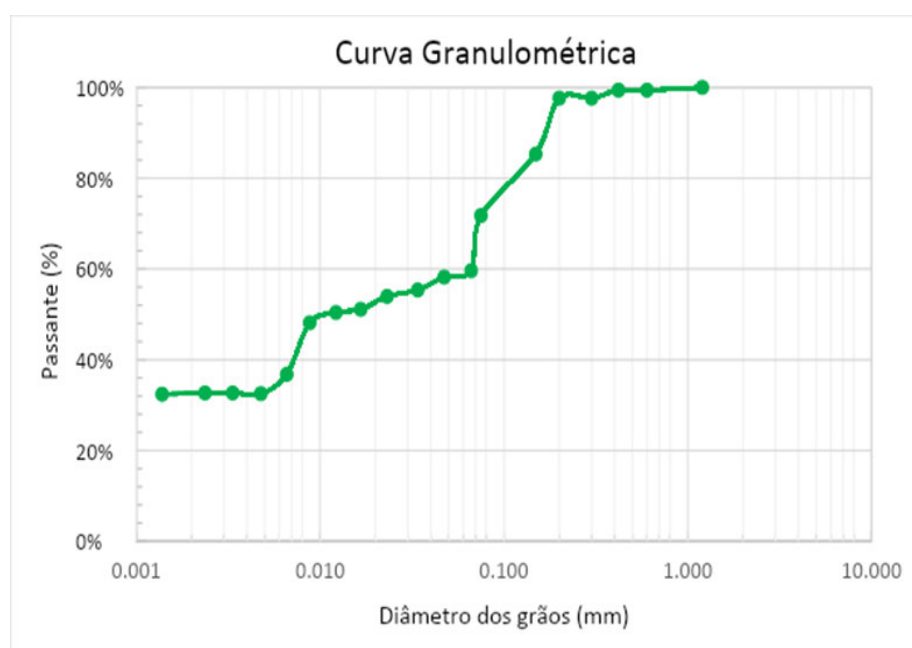


Figura 5.2. Curva granulométrica com água salgada.

A variação pode ser associada ao fato pela variação da distribuição dos percentuais na granulometria, bem como o uso de defloculante reagindo com o sedimento. O defloculante as partículas maiores (com tamanho semelhante ao de areia fina) se desagregam em partículas menores apresentando uma curva granulométrica uma diferença da curva granulométrica nesta zona. Na figura 5.3 é apresentado as duas curvas juntas para que seja melhor de visualizar a diferença entre os resultados.

Os resultados mostraram discrepância quando comparados com os resultados encontrados por Machado (2019b) o qual realizou uma análise de caracterização geotécnica do material de dragagem do Porto de Rio Grande também retirado em 2019, em um trecho distinto do utilizado neste trabalho. Pois segundo o autor ensaio de sedimentação por peneiramento o material de dragagem seguindo a normativa do ensaio

o material foi classificado como uma areia siltosa, já o mesmo material ensaiado com água do mar foi classificado como silte argiloso ou argila siltosa.

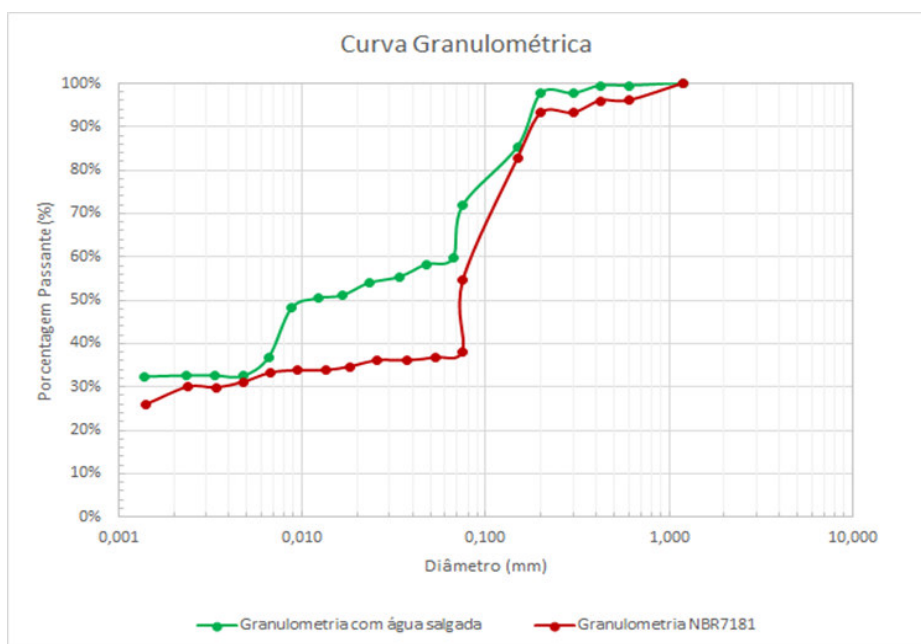


Figura 5.3 - Curvas de granulometria com água salgada e com defloculante

A curva granulométrica (figura 5.4), gerada através do método da pipetagem e análise dos sedimentos finos apresentou as porcentagens do material que compõe a amostra. Foi encontrado que através desse método as frações do material é de 44,29% de areia, 51,96% de silte e 3,75% de argila.

Ao observar a curva granulométrica é possível visualizar que o comportamento dos sedimentos passantes (sedimentos finos) é mais semelhante a análise de granulometria realizada com água salgada pelo método de granulometria apresentado anteriormente. Porém cabe ressaltar que para o método da pipetagem a amostra é lavada diversas vezes a fim de que se possa dessalinizar o máximo possível a mesma.

Fica evidente nos resultados do ensaio de pipetagem que as frações das partículas se comportam a amostra apresentam comportamento diferente na granulometria encontrada pelo método de sedimentação por peneiramento segundo a NBR7181. Vale ressaltar que em ambos os ensaios foi utilizado o mesmo defloculante para o preparo das amostras a fim de que se obtivesse a menor discrepância possível entre os resultados. No entanto, a porção de silte e argila de ambas as amostras se mostraram muito distintas, o que levou o material a ser classificado de forma distinta em cada situação.

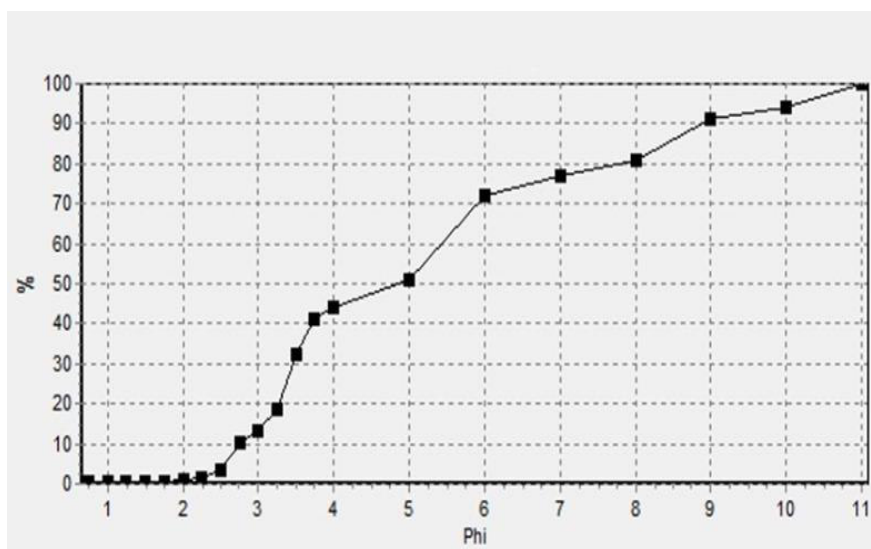


Figura 5.4 - Curva da distribuição granulométrica da amostra pelo método da pipetagem.

A classificação através do diagrama de Shepard (1954) o qual é um método bastante utilizado, e se baseia na relação percentual entre as frações granulométricas, a classificação utiliza um diagrama trilinear, a amostra foi classificada como areia siltica (figura 5.5).

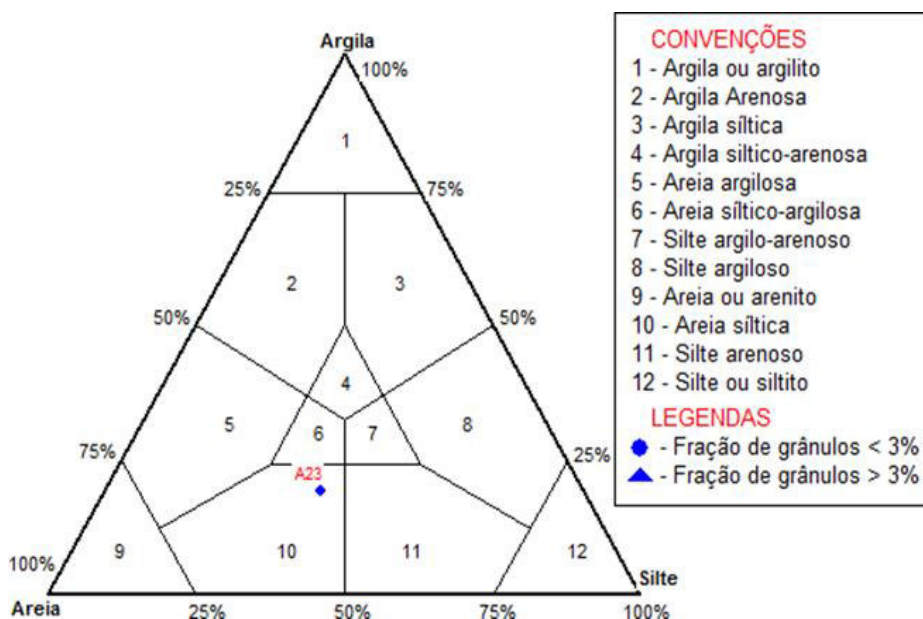


Figura 5.5 - Classificação do sedimento com o diagrama de Shepard

Para que se pudesse obter um resultado mais uniforme já que os dois métodos anteriores apresentaram resultados diferentes foi realizada a granulometria pelo granulômetro a laser, pela vantagem desta técnica ser rápida e fornecer informações mais detalhadas. A figura 5.6 apresenta o comportamento da amostra pelo granulômetro a laser.

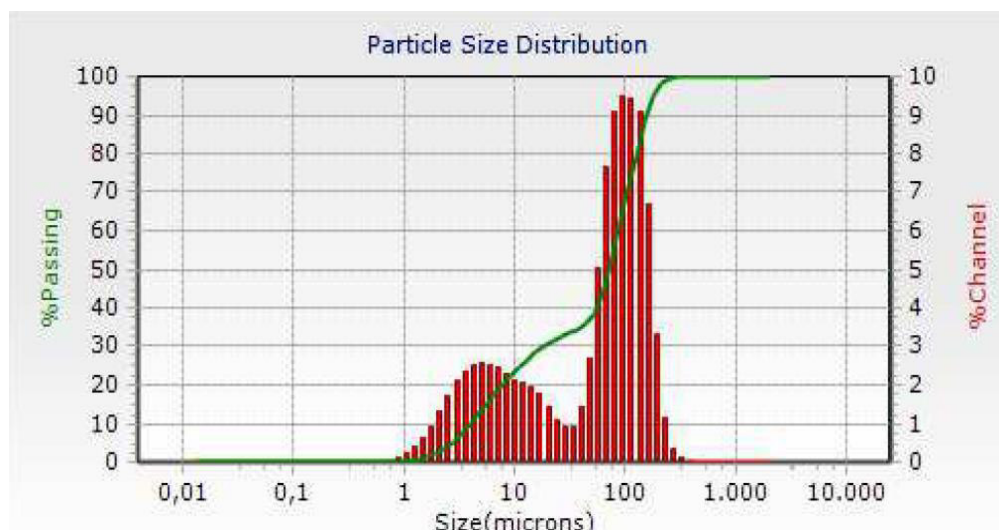


Figura 5.6 – Comportamento da amostra

A curva em verde na figura anterior representa o comportamento dos sedimentos finos passantes e é perceptível que ela é um pouco semelhante a curva granulométrica seguindo a NBR7181. Já a Figura 5.7. mostra o comportamento dos sedimentos retidos, sendo assim, os resultados obtidos mostram a diferença entre as curvas granulométricas geradas por cada método em estudo, com isto gerando diferenças na classificação textural das composições, ou seja, nas frações argila, silte e areia.

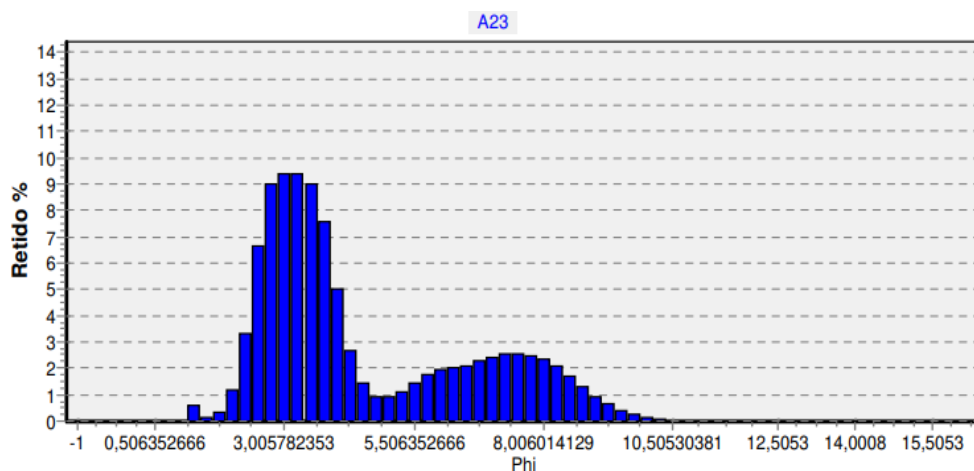


Figura 5.7- Comportamento da fração retida pelo granulômetro

A classificação encontrada no diagrama de Shepard por este método também foi areia siltica conforme a análise feita na pipetagem manual (figura 5.8), porém quem quadrantes diferentes da região encontrada anteriormente.

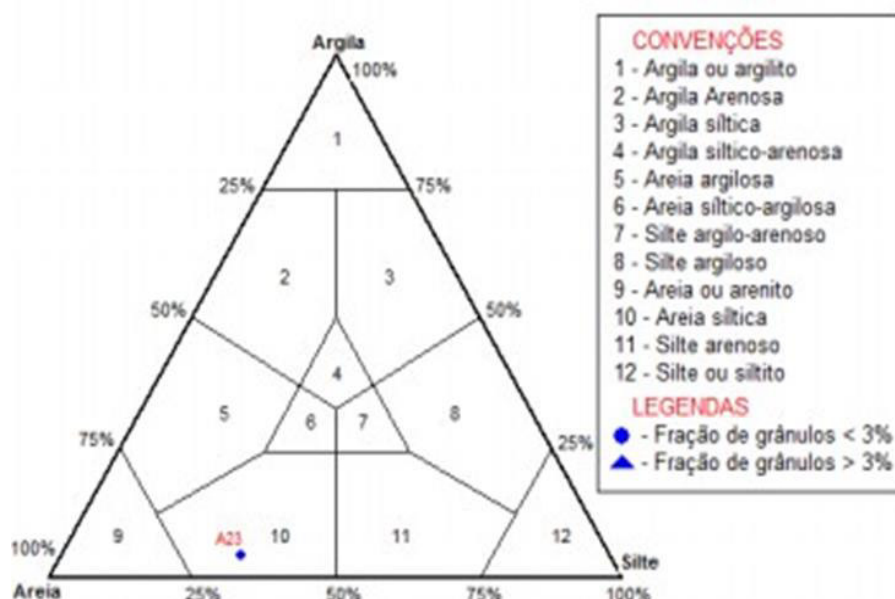


Figura 5. 8 - Classificação pelo o diagrama de Shepard – Granulômetro a laser

Segundo Santana (2017), a granulometria a laser mede o diâmetro do grão óptico e a partir deste, o diâmetro esférico equivalente, no entanto, os argilominerais apresentam partículas alongadas com grande relação de aspecto (diâmetro e espessura), sendo assim o diâmetro óptico obtido é muito maior que o diâmetro esférico equivalente, fazendo com que grande parte do material medido como argila pelo método do densímetro seja medido como silte no método de difração a laser. Os resultados corroboram com os estudos de Santana (2017), referentes a utilização das duas técnicas, o ensaio pelo método do densímetro e granulometria a laser, onde a granulometria a laser não conseguiu aferir as frações de argila, silte e areia com alta veracidade.

Os resultados obtidos através dos ensaios de limite de plasticidade e de liquidez (figura 5.9) foram divididos em: amostra com água destilada (c/água destilada) e com água salgada (c/água salgada). Os valores 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 foram dispostos na tabela 5.



Figura 5.9 - Ensaio Limites

Tabela 5- Limites de Atterberg, índice de plasticidade e índice de atividade coloidal

	C/água destilada	C/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

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 encontrados no trecho analisado no presente trabalho foi de 0,88 e 0,47 portanto, indicando a presença predominante de argilominerais 1:1 como caulinitas. Os valores encontrados de Ia no trecho estudado por Machado (2019b) foi de 1,44 caracterizando assim o material com predominância de argilominerais 2:1.

Vale ressaltar que o Ia apresenta apenas um indicativo do argilomíneral presente e não uma observação da presença efetiva desses materiais. 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. Este fato pode ocorrer em função de diversos fatores como por exemplo o período de retirada do material, o estado líquido do material, o próprio local de retirada, tipo de draga que coletou o material e principalmente a profundidade de coleta do material.

5.2 Seleção da dosagem e do polímero

Após a caracterização geotécnica do sedimento foram realizados os testes para a escolha do polímero que melhor reagiria com o material. Dos 10 polímeros listados na tabela 4.4, apenas 4 floclaram o sedimento estudado. As concentrações variaram entre 160 ppm e 210 ppm, sendo três polímeros aniônicos e um catiônico, com uma concentração 0,1% de solução polimérica, conforme a tabela 5.1. A concentração de 0,1% foi a concentração que apresentou mais facilidade para realizar a dosagem precisa devido a viscosidade da solução. A dosagem ótima é um ponto difícil de alcançar manualmente, então nos testes iniciais foram realizados a adição de 2 em 2 ml de polímero quando o comportamento da mistura apresentava bom comportamento, até que pudesse ser encontrada a dosagem ótima.

Tabela 5.1 – Dosagem ótima de cada polímeros

	Polímero	Dosagem Ótima (ppm)
A	C-496HMW	280
B	A-120HMW	160
C	C-492HMW	500
D	A-130HMW	350
E	A-150HMW	360
F	C-498HMW	200
G	A-100HMW	280
H	A-110HMW	200
I	A-137HMW	200
J	C-494HMW	310

Segundo Achon (2008), após a coagulação a água é encaminhada para os chamados floculadores (unidade de mistura lenta) onde ocorre a formação dos flocos devido à agitação lenta, com variações de velocidade, durante um determinado tempo, até os flocos obterem tamanho e peso necessário para que ocorra a sedimentação. Durante a realização do experimento no presente trabalho foi possível observar que vários fatores interferem na formação de floculação do material, tais como tempo de reação entre polímero e sedimento, bem como a velocidade de mistura do material.

A velocidade de mistura ou intensidade de agitação foi observada nos estudos de Avancini (2017), a qual apresenta a comparação entre a intensidade de agitação da mistura para realizar o ensaio do cone, a agitação com movimentos suaves apresenta flocos de tamanhos maiores do que quando a agitação é feita de forma rápida onde a mistura ainda apresenta floculação, porém com tamanhos muito menores. O mesmo também foi observado durante os testes iniciais desse estudo, pois quando a mistura era agitada rapidamente a floculação logo começava a aparecer, porém logo em seguida os flocos se desmanchavam, como é possível observar na figura 5.10.

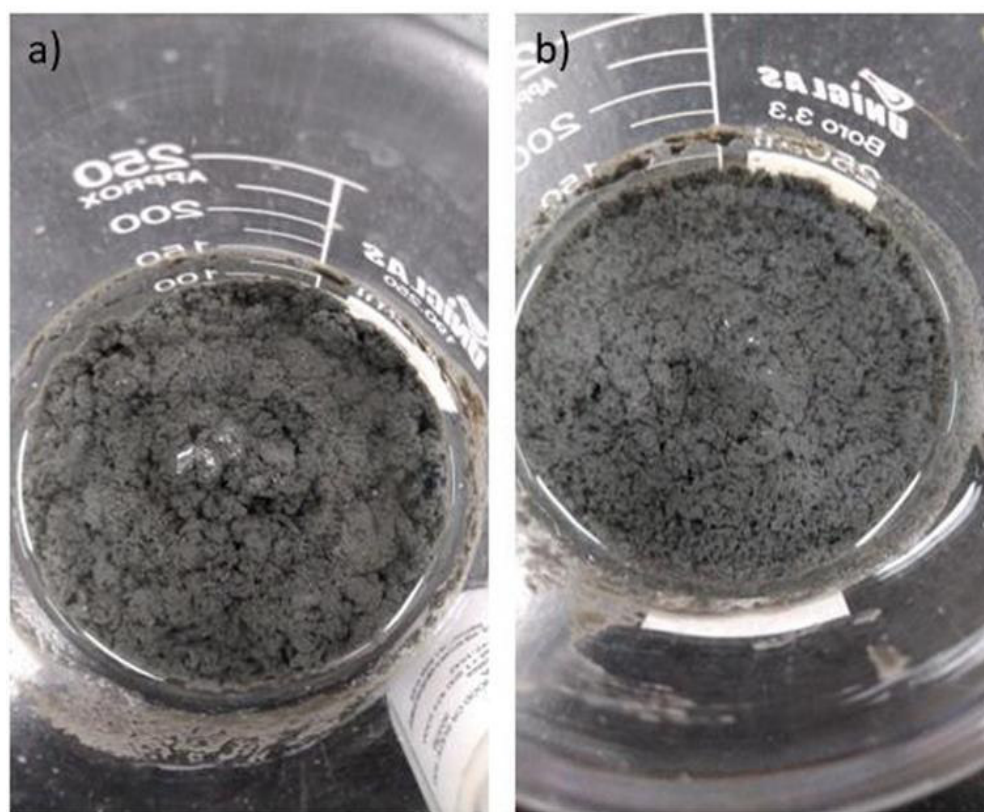


Figura 5.10 - Variação entre intensidade de agitação da mistura: a) mistura lenta; b) mistura rápida.

Segundo Campbell et al. (1996), flocos muito grandes podem interferir na eficiência de desagregamento, e associa este fato aos ensaios efetuados em laboratório resultarem em

dosagem de polímero menores do que em escala real. A figura 5.11 é apresentado os resultados de diferença de floculação para os polímeros F, H e I, com a concentração polimérica de 0,1% e 200 ppms na solução de sedimento.

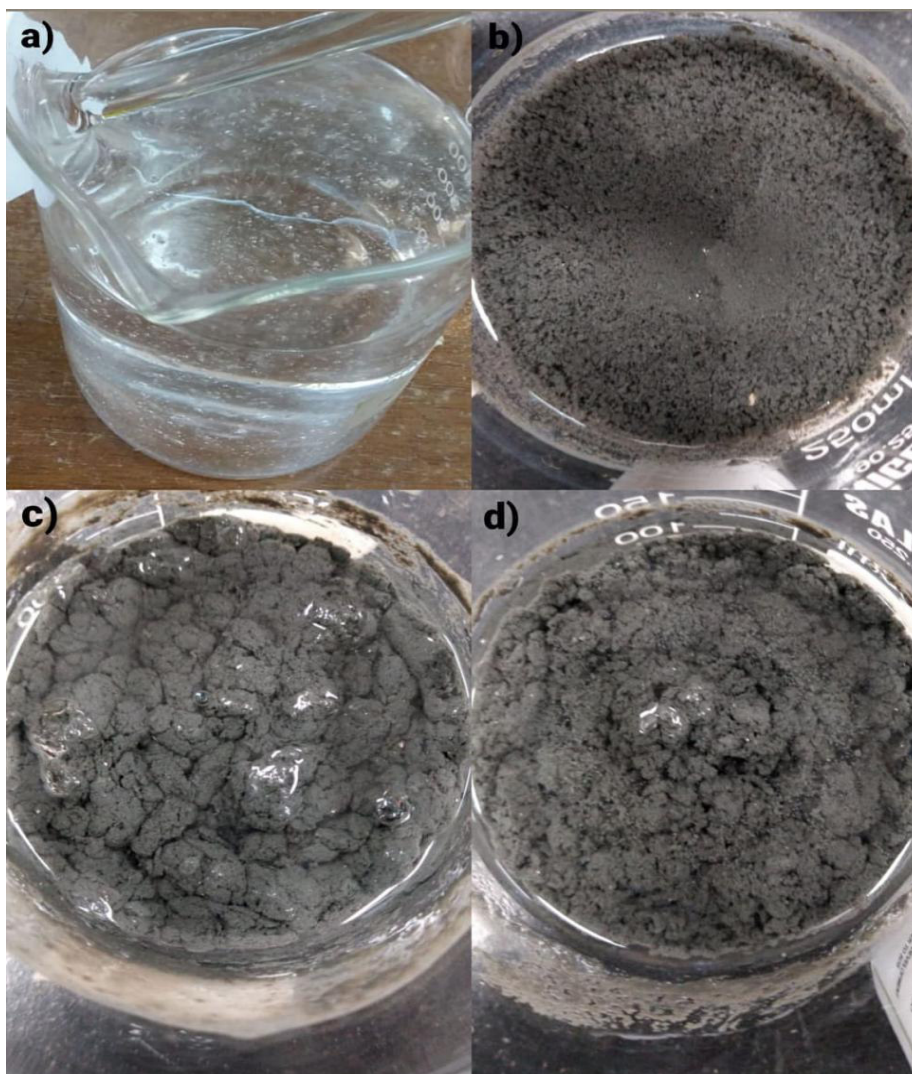


Figura 5.11 - Soluções de sedimentos com diferentes polímeros. a) solução polimérica; b) polímero F; c) polímero H; d) polímero I.

O polímero escolhido para a realização do teste de desaguamento rápido foi o polímero Superfloc A-120 HMW que apresentou a floculação utilizando a menor concentração, com uma dosagem de 160 ppm. Esse polímero tem características de ser utilizado para condicionar efetivamente sólidos para as operações de desidratação e ajudar nos processos de clarificação da água em uma ampla variedade de indústrias por ser benéfico em qualquer processo de separação sólido-líquido. A figura 5.12 mostra o comportamento do sedimento quando adicionado o polímero.



Figura 5.12- Mistura entre solo e polímero; a) vista lateral; b) vista da superfície de cima do becker.

5.3 Teste de desaguamento Rápido

O teste de Desidratação Rápida tem como principais resultados as eficiências geradas a partir do sistema de interação solo-geotêxtil, sendo que para este trabalho o teste também foi separado com adição e sem adição de polímeros no solo. O principal objetivo dos testes com polímeros é a separação do sólido e líquido, e que o geotêxtil funcione como um filtro, impedindo que os materiais finos do solo passem por esses elementos.

Guanaes (2009), também realizou diversos ensaios de desaguamento em cone e em bolsas de pequenas dimensões, porém com lodo de estação de tratamento de água, buscando comparar as eficiências de filtração e de desaguamento com diferentes polímeros e constatou que o uso de polímeros foi fundamental para redução da resistência à filtração do lodo e para o sucesso de desaguamento em geotêxtil.

Durante a realização da presente pesquisa foram feitos ensaios de desaguamento em cone prévio, com o objetivo de analisar a metodologia, como por exemplo, fixar um tempo padrão para realização do ensaio. A figura 5.13 mostra o comportamento do sedimento quando misturado com o polímero e a realização do ensaio com e sem adição polimérica.

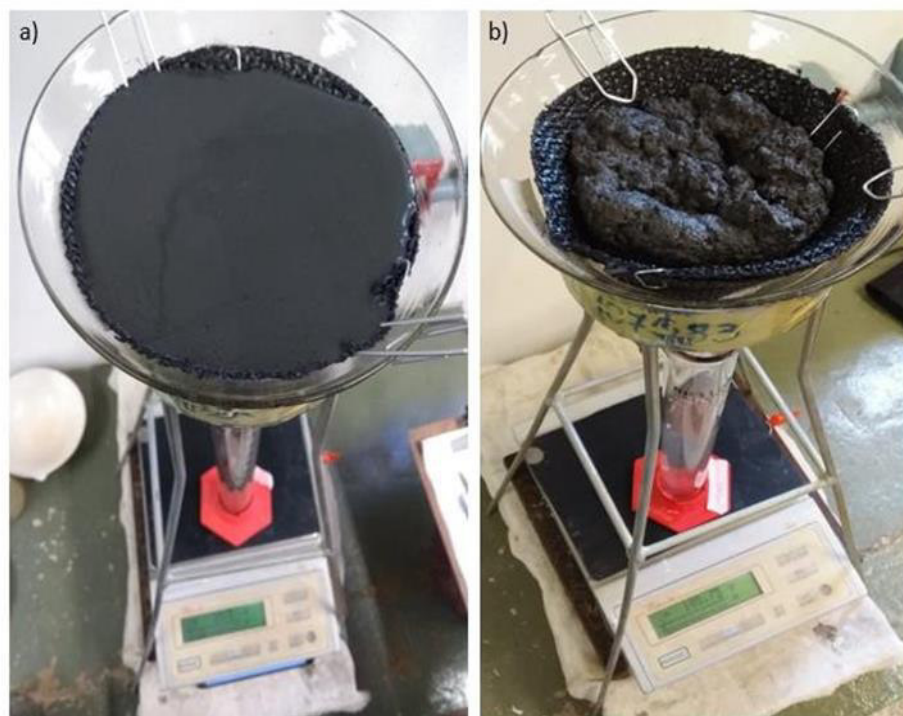


Figura 5.13- Ensaio de desaguamento. a) teste sem polímero;
b) teste com polímero.

Nesta etapa também foi possível observar que a realização da análise de turbidez do efluente desaguado, foi observado que nas amostras sem o polímero a leitura de turbidez apresentou maior quantidade de sólidos e o valor ultrapassava o limite de leitura do turbidímetro (1000 NTU), aumentando a incerteza nos resultados. Deste modo, foi tomada a decisão de que não seria analisada a turbidez em turbidímetro e sim uma análise visual do líquido percolado em relação a esse fator, além de que após o ensaio seria difícil o armazenamento das amostras até a realização da leitura visto que tínhamos que agendar a utilização do turbidímetro.

O tempo estipulado para o ensaio foi de 30 min para, foi perceptível também a variação nos resultados devido a densidade do sedimento, sendo assim a densidade utilizada para o teste foi de aproximadamente $1,1 \text{ kg/m}^3$, com o objetivo de representar a fluidez da amostra em condições de campo, ou seja, condições do sedimento retirado da draga. A partir deste ensaio foi possível obter os valores correspondentes as eficiências do sistema citadas no item 2.18 do capítulo 2.

A primeira eficiência calculada foi a eficiência do polímero, neste teste é possível observar a interação solo-polímero-geotêxtil. Na tabela 5.2 são apresentados os valores encontrados para o sistema com o Gtx 1 (105/105 HDW), para o Gtx 2 (105/105 DW) e para o Gtx 3 (55/55DW).

Tabela 5.2 - Eficiências do Sistema com o ensaio de desaguamento rápido

Eficiências	Gtx 1		Gtx 2		Gtx 3	
	Sem Polímero	Com Polímero	Sem Polímero	Com Polímero	Sem Polímero	Com Polímero
EP (%)	--	74,49	-	86,47	-	75,08
EF (%)	96,67	98,13	93,68	99,14	99,56	99,89
ED (%)	34,58	69,32	33,13	14,15	5,95	14,28
EI (%)	32,80	52,26	75,76	18,95	10,22	17,05
PP (g/m ²)	163,66	41,76	265,81	35,98	18,58	4,63

*onde: EP – eficiência do polímero; EF – eficiência de filtração; ED – eficiência de desaguamento; EI – eficiência de infiltração; PP – partículas passantes

Para a eficiência do polímero, EP, o geotêxtil, GTX 2, apresentou melhor resultado com variação de mais de 10% em relação a eficiência dos dois outros geotêxteis. Já a eficiência de filtração do sistema variou entre 93% a 99% para os três geotêxteis. A figura 5.14 apresenta o resultado de eficiência de desaguamento, onde os testes apresentaram uma variação brusca quando comparados entre si e a Eficiência do Polímero.

Os testes com polímero apresentaram os melhores resultados em relação aos testes sem polímeros, nos três sistemas apresentando uma média entre as eficiências de filtração de 99,05%. Esse resultado foi considerado muito bom, sendo o sistema de interação com geotêxtil 3 o mais eficiente neste caso, porém sem grande disparidade com os demais. Os sistemas solo-polímero-geotêxtil apresentam uma variação maior que 50%, o sistema com o geotêxtil 1 apresentou uma eficiência de quase 70% enquanto os sistemas com o geotêxtil 2 e 3 apresentaram uma eficiência de deságue aproximadamente de 15%.



Figura 5.14- Eficiência do sistema

A eficiência de deságue para o sistema solo-geotêxtil, sem polímero apresentou pouquíssima variação entre si, menos de 1% entre os dois primeiros geotêxteis (Gtx 1 e Gtx 2), porém o valor bastante inferior aos demais ensaios foi observado para ED do Gtx 3. O geotêxtil 1 apresentou a ED de 34,58% e o geotêxtil 2 a ED de 33,13%, mesmo sendo uma pequena variação o geotêxtil 1 é mais eficaz para o deságue.

O Gtx 3 sem polímero apresentou cerca de 5% de eficiência de deságue, um índice muito abaixo do comportamento dos outros e até do mesmo com a adição de polímero. Por isso foi refeito o ensaio de cone para este geotêxtil a fim de ter uma maior precisão nos resultados e novamente apresentou índices baixos em questão de deságue. Em ambos os testes o GTX 1 apresentou maior eficiência de desaguamento, diferente das eficiências anteriores. Esses resultados estão ligados a taxa de deságue e o volume passante do efluente, resultando na curva mássica do sistema, o qual é observado na figura 5.15.

Pode-se observar que entre os geotêxteis a curva de massa do efluente sem polímero está abaixo da linha do efluente com polímero, indicando então que o volume de efluente passante é maior com polimerização. O Gtx 3 apresentou o menor valor em relação aos 3 testados, foi muito perceptível seu baixo desempenho comparado aos demais. Todos os sistemas apresentam uma estabilização do volume filtrado após os 5 min iniciais do teste, já no Gtx 1 a curva estabiliza de fato após 15 min.

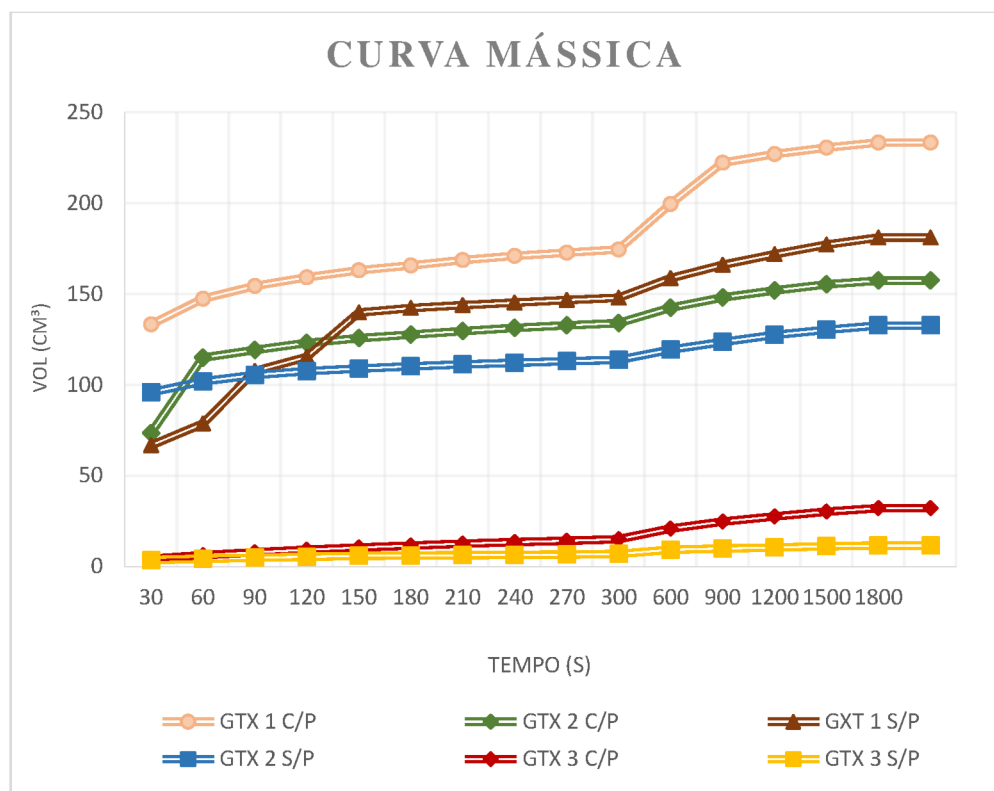


Figura 5.15- Curva mássica

Para Lima (2016), o qual também testou a eficiência da aplicação de polímeros em um sistema geotêxtil no ensaio do cone, foi possível observar que testes com polímeros apresentaram variações no volume, tendo uma redução gradativa durante o decorrer do tempo de filtração. O autor corrobora com o resultado encontrado em Urashima (1996), que afirma que esse fato ocorre devido às partículas maiores de sólidos suspensos ficarem retidas na interface do geotêxtil, passando a reter partículas cada vez menores, formando assim um pré filtro que reduz a permeabilidade e aumenta a eficiência da filtração.

Outro resultado importante que se destaca é a quantidade de perda de partículas por unidade de área apresentado na figura 5.16. Esta eficiência indica o quanto de solo está passando no sistema. Para o teste com polímero, ambos os geotêxteis tiveram eficácia de reter boa parte das partículas finas do solo.

Este comportamento também é relacionado a abertura de filtração do geotêxtil, como apresentado na tabela 4.3, o GTX1 apresenta maior abertura de filtração em relação aos outros dois geotêxteis o que tende a facilitar a passagem de água e também de partículas, este geotêxtil com adição de polímero apresentou 69,32% de eficiência de deságue e também foi que teve maior passagem de partículas.

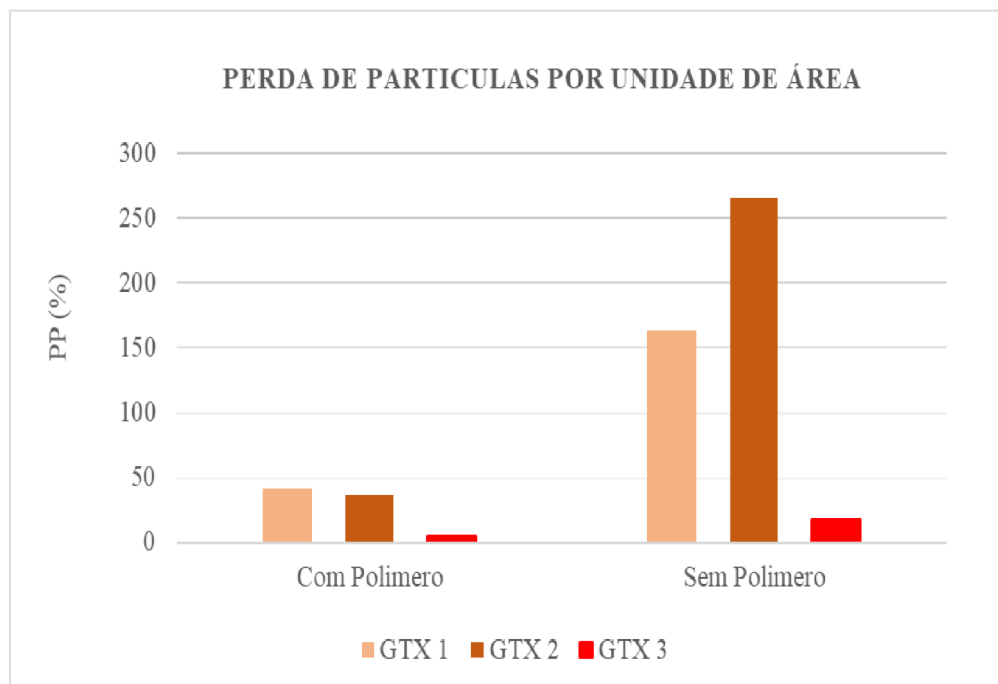


Figura 5.16 - Perda de partículas

Dentre os seis testes analisados o teste do sistema solo-polímero-geotêxtil e solo-geotêxtil o Gtx3 foi o que mais reteve material. O resultado pode estar associado ao fato que este foi o geotêxtil com maior eficiência de filtração, apresentando uma eficiência de 99,89%. Possivelmente, isto pode ocorrer devido à colmatação física ou biológica do geotêxtil, visto que esse processo está relacionado com a ocorrência de *Filter Cake*, o qual aumenta a eficiência de filtração, todavia reduz a permeabilidade (LESHCHINSKY, 1996; GAFFNEY ET AL, 1999; LIMA 2016).

A discrepância entre os sólidos passantes com e sem polímero também é observada pela coloração do efluente durante a drenagem do líquido, o efluente do teste sem polímero apresenta coloração escura e o teste com polímero apresenta uma cor do efluente muito clara, e é quase imperceptível as partículas finas no material. Na figura 5.17 podemos observar a diferença do efluente percolado no sistema durante o ensaio.

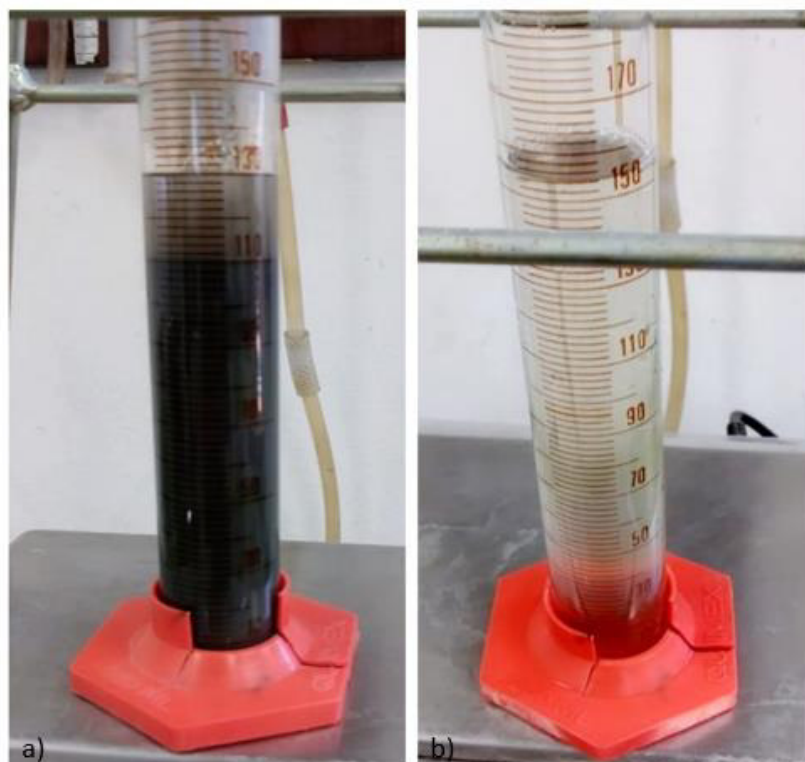


Figura 5.17 - Efluente percolado durante ensaio de desaguamento: a) sem adição de polímero; b) com adição de polímero.

Quando estes dois materiais são secos na estufa também é possível observar a diferença entre eles. O material dos testes com polímero ao secar apresenta um aspecto mais esbranquiçado e mais granular, o material sem polímero apresenta nitidamente partículas finas de solo, formando uma camada de espessura fina sobre o recipiente.

Com base em todos os resultados das eficiências e de caracterização do material, foi possível observar que o geotêxtil 1 com polimerização seria mais eficaz para o desaguamento deste sedimento, devido ao fato de todas as eficiências apresentarem bons resultados quando comparadas ao outros 2. Portanto, o Geotêxtil 1 (GTK 1) foi selecionado para ser utilizado nos ensaios de desaguamento em bolsa de pequena dimensão.

5.4 Teste de desaguamento em bolsa de pequena dimensão

Os ensaios de desaguamento em bolsa de pequena dimensão, que neste estudo chamamos de (*Bags*), foram divididos em duas etapas. Na primeira foram realizados dois ensaios com um único ciclo de enchimento, com e sem adição de polímero para o condicionamento. A segunda etapa foi realizada apenas com a adição do condicionante químico, porém com três ciclos de enchimento. Todos ensaios foram realizados

utilizando o GTX 1 e seguiram o procedimento citado no item 4.18, na Figura 5.18 é observado o momento de enchimento na primeira etapa sem a adição de polímero.



Figura 5.18 - Teste de desaguamento em bolsa de pequena dimensão

O volume de fluido preparado na etapa de enchimento do SCR foi o valor encontrado a partir da vazão polimérica. Utilizou-se o polímero escolhido Superfloc A – 120HMW, em uma solução de 0,1% e dosagem de 160 mg/l, portanto para o volume total de 30 litros para um único ciclo constituído de enchimento e desaguamento, foi colocado 4,8 litros de mistura do polímero (polímero + água destilada).

O sedimento foi retirado da caixa onde é armazenado com a ajuda de uma cavadeira e colocado em 2 baldes de 15 litros (figura 5.19a), neste momento foi estipulado o valor de densidade de 1.1 g/cm^3 , a mesma utilizada no ensaio RDT, portanto em cada balde foi colocado uma quantidade de sedimento e adicionado água salgada para atingir a

densidade que o sedimento é retirado da draga. A amostra do sedimento foi homogeneizada manualmente, em cerca de 2 min, com a ajuda de um misturador acoplado em uma furadeira (figura 5.19b).

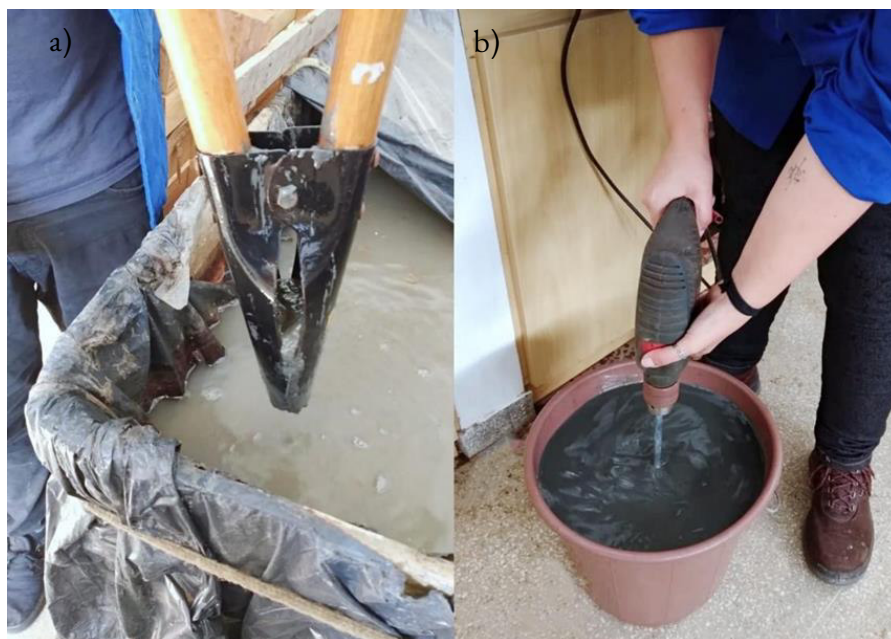


Figura 5.19- Preparo do sedimento para o ensaio. a) retirada da caixa de armazenamento; b) homogeneização da amostra.

A registro esfera foi acoplada no tubo para facilitar o processo de enchimento e diminuir o tempo de enchimento manual. Tominaga (2010) e Avancini (2017) a abertura do registro, pois a mesma acrescentaria uma melhoria no procedimento manual de enchimento do reservatório com os baldes, evitando uma grande variação no tempo de enchimento. Uma grande variação no tempo de enchimento pode acarretar na variação do tempo de ensaio e prejudicar a acurácia do valor dos volumes coletados, já que estes são em função de tempos diferentes. Nesse sentido após o tempo de enchimento o cronometro foi zerado logo após o enchimento e a partir deste momento o tempo as leituras do volume foram anotadas em tempos pré estipulados.

O tempo de enchimento para o BAG 1 foi de 2 min, o BAG 2 foi de 1 min, já o BAG3 teve o tempo de enchimento igual a 50 segundos, 1,47 min e 2 min para o primeiro, segundo e terceiro enchimento, respectivamente. Durante o enchimento sem a adição do polímero foi observado que mesmo com a registro esfera aberto em 45° o sedimento desceu pelo tubo rapidamente, chegando na bolsa com maior pressão que nos demais ensaios e este fato fez com que o lodo jorrasse pelos poros da bolsa em diversos pontos, e pela costura do próprio bocal da bolsa (figura 5.20).



Figura 5.20- Procedimento de enchimento do ensaio BAG1 sem adição de polímero.

Após o ciclo de enchimento o bag foi aberto e foi realizado o ensaio do cone de queda em uma pequena amostra do solo que ficou retido, o peso do sedimento retido foi de 3,8 kg, a partir deste sedimento foram retiradas amostras em diferentes pontos ao longo de 7 dias para que se pudesse construir uma curva de secagem. Nesse período de 7 dias o teor de umidade retido no interior do bag em função do tempo, apresentou discrepância de comportamento com os valores encontrados por Silva (2017) em seus ensaios, pelo fato do teor de umidade já passar o valor de 100% na primeira coleta. No entanto, corroboram com os resultados apresentados por Avancini (2017) que claramente apresentou teores de umidade expressiva.

Barbosa (2011) relata que obteve em quarenta (40) dias de monitoramento, teor de sólidos de 100% e teor de umidade próximo a zero, considerando assim a eficácia do processo de desaguamento a redução máxima de volume de líquido por meio do emprego do tubo geotêxtil. Já Silva (2017), realizou esse processo de secagem variando de 24 a 29 dias, para observar a variação do teor de sólidos, porém neste intervalo de tempo o teor de sólido variou de 20% a 30% e que os resultados ficaram constantes a partir de 10 dias após o encerramento do ensaio.

Neste ensaio ao abrir o BAG1 foi possível observar o início da formação de *filter cake*, assim como, visualizar nitidamente a separação da parcela de argila e areia do sedimento que ficou retido, como observado na figura 5.21. Não foi possível realizar o ensaio de resistência não drenada (S_u) com a palheta, pelo fato de o sedimento

armazenado não possuir altura para cravar a palheta. O volume desaguado foi o maior entre os três ensaios realizados e também apresentou o maior percentual de partículas passantes.



Figura 5.21 -Amostra retida ensaio BAG1 sem a adição de polímero.

Ainda na primeira etapa dos ensaios foi realizado o ensaio com polímero com um único ciclo de enchimento, o qual apresentou um comportamento distinto do anterior, logo no início do ensaio, desaguando um valor menor e o efluente já bem mais claro e sem tantas partículas passantes (figura 5.22). Neste ensaio não ocorreu o acúmulo das partículas entre os poros do geotêxtil, possivelmente pela floculação e aglutinação das partículas finas, processo ocasionado pelo uso do condicionante químico. O volume final após 24 horas apresentou uma variação de aproximadamente 4 litros a menos que do ensaio sem polímero.



Figura 5.22 - Ensaio BAG2 com um único ciclo de enchimento

Ao abrir o BAG2 foi retirado uma amostra para execução do ensaio do cone de queda, a fim de estimar a resistência não drenada. O cone de queda foi realizado em 3 pontos diferentes da amostra. Assim como no ensaio anterior (BAG1) com um único ciclo de enchimento, não foi possível realizar o ensaio da palheta pelo fato do material retido não possuir altura suficiente para a cravação da palheta. O comportamento do sedimento dentro do bag também se mostrou diferente, o material criou um aspecto mais argiloso e gelatinoso, não sendo observada a formação do *filter cake* (figura 5.23).



Figura 5.23 - Amostra com polímero retida no BAG2

A curva do volume de efluente em relação ao tempo de deságue para este ensaio mante-se estável após 120 min após o início do ensaio. Foi durante este ensaio que foi verificado a evaporação do material na caixa coletora, que foi de aproximadamente 100 ml, portanto não foi um valor de grande significância em relação ao volume total. A curva de secagem para este ensaio apresentou o comportamento diferente dos três ensaios, esse fato pode ser relacionado ao local de onde foi coletada as amostras, o teor de umidade inicial deste ensaio foi de 212%.

Para Avancini (2017) o ensaio com lodo condicionado após 8 dias de ensaio não apresentou diferença tão grande quando comparada à umidade final do ensaio sem polímero. E esse resultado foi o mesmo observado no presente estudo, pois o valor final da umidade do BAG1 foi de 201% e o BAG2 teve o valor de 202%.

A segunda etapa do ensaio foi realizada no BAG3, com 3 ciclos de enchimento, sendo cada ciclo com o volume de 30 litros, totalizando assim 90 litros de sedimento. Nesse ensaio foi notado que para os três ciclos de enchimento o valor desaguado no primeiro minuto variou cerca de aproximadamente de 200 ml entre um ciclo e outro. O volume de desague foi menor que no ensaio sem polímero, esse resultado pode ser associado a formação do *filter cake* durante o desaguamento, já no início do ciclo dessa etapa. Segundo Pleper (2008), a formação do *filter cake* traz benefícios ao processo de retenção de partículas, porém em contrapartida, diminui a permeabilidade e dificulta a eliminação do fluido.

O segundo ciclo de enchimento ocorreu após 72 horas e o terceiro ciclo após 96 horas do início do primeiro enchimento, Guimarães (2014) também utilizou esse tempo para o enchimento em seu teste. Nesta etapa foi possível observar a altura após o enchimento do bag, no primeiro ciclo o bag possuía uma altura de 2 cm após o enchimento e no terceiro ciclo uma altura de 5 cm. A variação do comportamento do bag é notada na figura 5.24, e na figura 5.25 é observado a turbidez do efluente desaguado.



Figura 5.24 – Ciclos de enchimento BAG3



Figura 5.25 – Efluente desaguado após o último ciclo de enchimento.

Após o fim do terceiro ciclo o BAG3 foi aberto, sendo realizado o ensaio do cone, e nesse momento foi observado que para este ensaio seria possível a realização do ensaio de palheta, também foi possível retirar uma amostra para um ensaio de adensamento oedométrico para trabalhos futuros, visto que em função do tempo dos carregamentos na amostra não seria possível obter o resultado para este estudo. A textura do sedimento retido após os três ciclos é observada na figura 5.26.



Figura 5.26– Textura do sedimento retido após os três ciclos de enchimento com polímero

Para a curva de secagem desta etapa foi verificada uma maior estabilidade nos valores, durante este ensaio, foi retirado mais umas amostras de umidade no primeiro dia de abertura do bag, bem do centro do mesmo a fim de averiguar o comportamento no meio da torta retida. Esta amostra retirada exatamente do centro da amostra após 48 horas depois do fim do ciclo de enchimento apresentou o maior valor de teor de umidade.

Avancini (2017) constatou que a eficácia do polímero para os teores de umidade somente quando ensaiado com a dosagem ótima do polímero e uma dosagem inferior não apresenta resultados satisfatórios quanto associados a umidade final do resíduo. Os resultados calculados para os teores de umidade a partir dos pontos de coleta de cada BAG, gerando a curva de secagem encontram-se na figura 5.27, assim como na figura 5.28 é observado a curva mássica (volume desaguado em relação ao tempo), nos três ensaios.

De acordo com Muller (2018), observou que todos os sedimentos perdem água em um momento inicial principalmente devido à drenagem, esse processo ocorre predominantemente pelas características do solo e representando a quantidade de água percolada deste. Com o fim dos ciclos de enchimento foi calculado os valores das eficiências para o sistema na busca de comprovar os resultados obtidos no ensaio do cone. Os resultados obtidos para cada etapa são discriminados na tabela 5.3

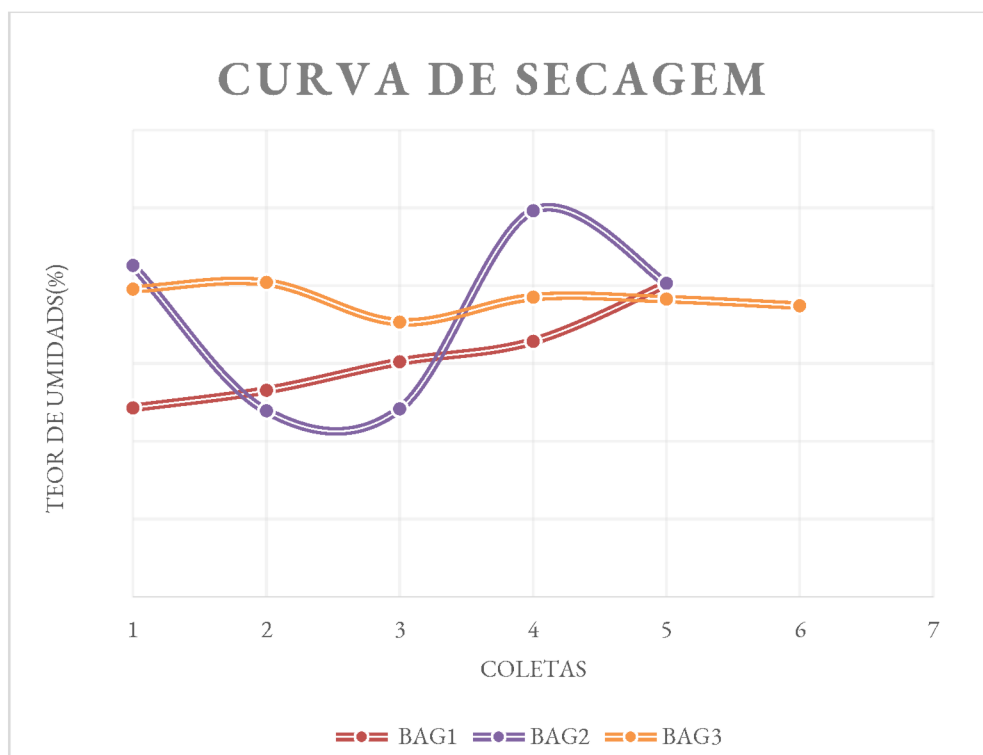


Figura 5.27– Curva de Secagem

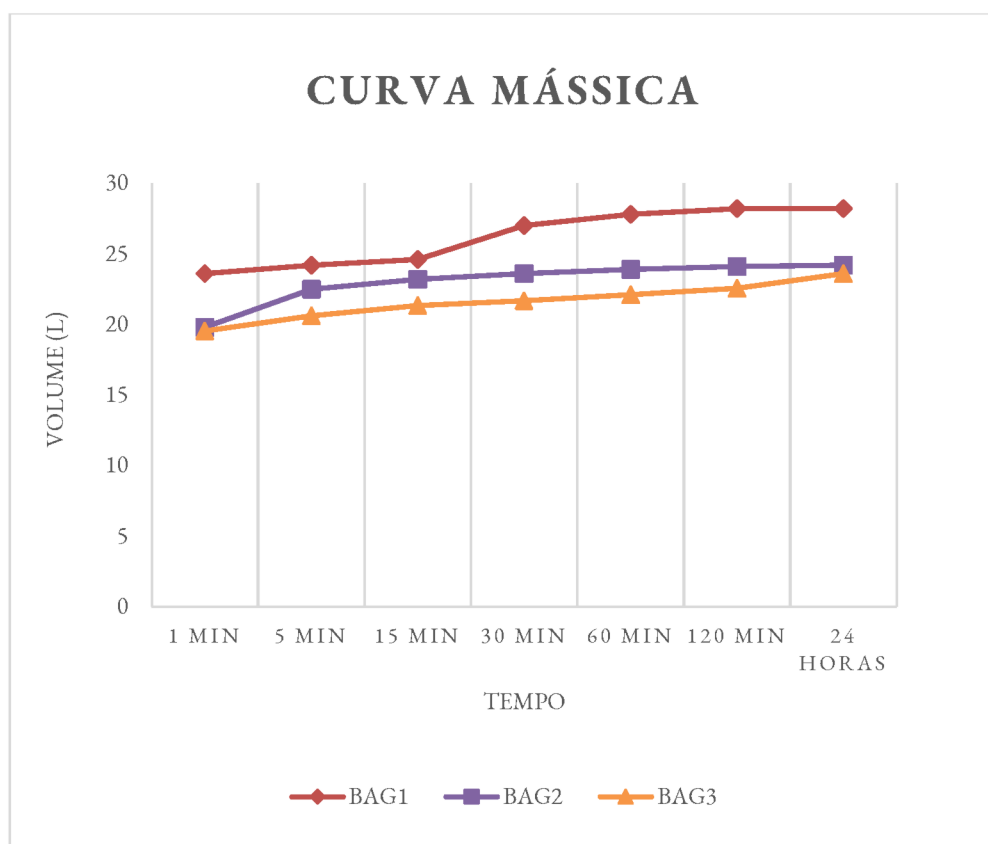


Figura 5.28 – Curva mássica

Tabela 5.3. Eficiências do sistema

Eficiências	Primeira ETAPA		Segunda ETAPA		
	BAG 1	BAG 2	BAG 3		
	Sem Polímero	Com Polímero	Ciclo1	Ciclo2	Ciclo3
EP (%)	--	69,57	69,57	78,26	73,91
EF (%)	92,33	97,67	97,67	99,17	99,33
ED (%)	89,36	74,29	-	-	95,95
EI (%)	97,21	97,56	-	-	98,46
PP (g/m ²)	7,28	2,22	2,22	1,58	1,90

A eficiência do polímero (EP), observada a partir do ensaio de bolsa de pequena dimensão, vem de encontro ao resultado obtido no ensaio de desaguamento rápido. O polímero escolhido para o ensaio apresentou bom desempenho quando utilizado com GTX1. Os dois bags que foram preenchidos somente com um ciclo de enchimento tiveram a mesma eficiência (EP), esse resultado está associado ao fato de que o volume de enchimento (30L) foi o mesmo nos dois, assim como o volume do efluente percolado seco foi o mesmo. Para todos os cálculos de eficiência os valores usados quando relacionados à o teste sem polímero foram extraídos do BAG1, pois foi o único ensaio realizado sem o condicionante químico.

A eficiência de filtração para todos os ensaios se manteve acima de 90%, apresentado um ótimo resultado quando associado ao uso de polímero, porém mesmo no ensaio sem polímero o valor mostrou-se satisfatório. Por outro lado, as partículas passantes apresentaram um resultado mais expressivo no ensaio sem polímero, sendo notório a passagem dos grãos, como relatado anteriormente logo no início do ensaio ocorreu e extravasamento dos mesmos pelos poros do geotêxtil e sendo confirmado através do cálculo de PP o qual apresentou valor aproximadamente 5 vezes maior que o ensaio nas mesmas condições com o uso de polímero.

Para o BAG3 não foi possível calcular a eficiência de desague e de infiltração para os dois ciclos iniciais, visto que por se tratar de um enchimento contínuo não era possível realizar a medição das variáveis necessárias para os cálculos. O mesmo apresentou as maiores eficiência de desague e de infiltração após o final do terceiro ciclo de enchimento. Claramente foi perceptível a diminuição dos sólidos passantes no percolado conforme

ocorreu os enchimentos, o ciclo 2 apresentou o menor valor referente a PP. Isso ocorreu pelo fato de o mesmo apresentar o menor valor de percolado seco (0,5g), mesmo apresentando o mesmo valor desaguado após 24 horas do terceiro enchimento, o qual foi de 24L.

De modo geral os valores das eficiências do sistema mostraram-se satisfatórias e foi verificado que o uso de condicionante químico é importante para a qualidade do efluente percolado e para a retenção dos sólidos no interior do bag. Não ocorreu grande discrepância entre os resultados obtidos anteriormente no ensaio do cone. Sendo assim a técnica de desaguamento se mostra eficaz.

5.8. Resistência não drenada do solo retido

A resistência não drenada do solo, S_u , é um importante parâmetro para dimensionamento da estabilidade de obras geotécnicas. Assim, a presente pesquisa avaliou a resistência não drenada do solo retido ao final do ensaio de bolsa de pequena dimensão. A medida do S_u foi feita indiretamente através dos resultados obtidos com o cone de queda e com o ensaio de mini palheta de laboratório, quando possível. Aa figura 5.29 é demonstrado os pontos onde foram realizados os ensaios para avaliação da resistência do material retido.

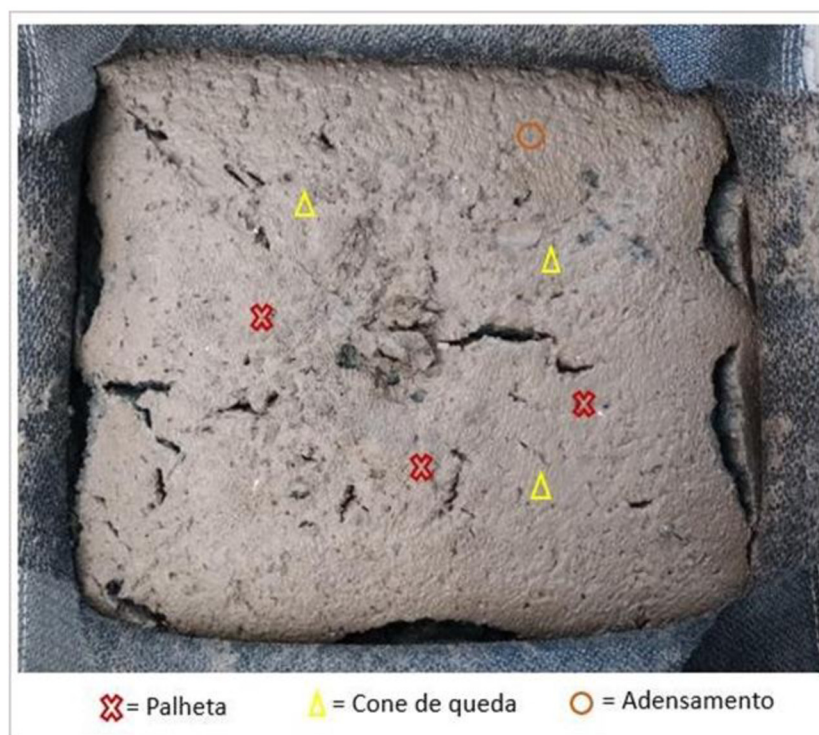


Figura 5.29- Representação de os pontos onde foram realizados os ensaios

O fator K para a determinação da resistência não drenada pelo ensaio do cone de queda é um parâmetro obtido experimentalmente. O fator K utilizado foi 0,8, valor recomendado na bibliografia (Hansbo, 1957). Karlsson (1961) sugere que o valor do fator é influenciado pela mineralogia do solo. Foram executadas três medições durante o ensaio em pontos distintos na amostra. O ensaio de cone de queda aconteceu após 48 horas do início do ciclo e 24 horas após o fim do ciclo, nos três ensaios realizados nas bolsas de pequenas dimensões.

Já o ensaio de palheta de laboratório só pode ser realizado no BAG3, pelo fato dos bags com um único ciclo de enchimento não possuírem altura para a cravação da palheta. A mola escolhida para a realização do ensaio foi a mola número 2, a qual possui a constante de calibração K_{mv} (N. mm/ grau de torção) igual à 2,5259. A palheta possui altura de 12,7 mm e 12,7 mm de diâmetro.

Teoricamente a cravação da palheta deveria ocorrer a uma altura aproximada de 6 cm para um resultado mais confiável. Porém visto que mesmo após os três ciclos de enchimento a altura máxima do sedimento retido no bag foi de 5 cm, foi tomada a decisão de cravar a palheta a uma altura de 2,5 cm, valor este referente ao meio da camada do sedimento. A figura 5.30 apresenta os resultados encontrados para a S_u obtida pelo ensaio do cone de queda e o ensaio de palheta de laboratório.

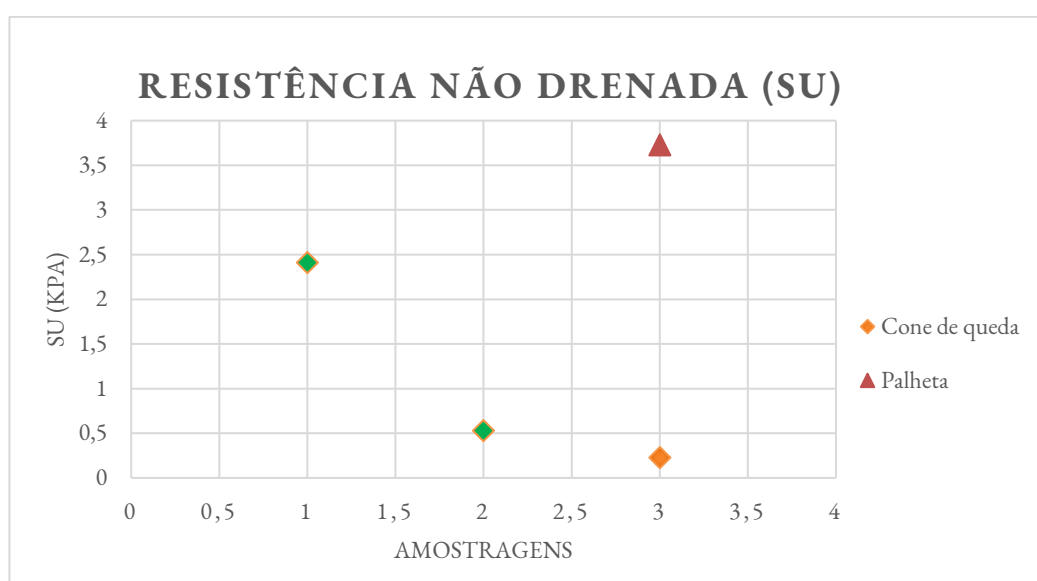


Figura 5.30– Resultados cone de queda e palheta de laboratório.

A partir dos resultados adquiridos através destes ensaios para a estimativa da resistência não drenada, foi possível analisar o comportamento do sedimento retido. Notou-se que para o BAG1 (sem polímero) pelo ensaio do cone o valor de S_u foi de 2,4 kPa, já para os sedimentos do BAG2 e BAG3 (com adição de polímero) para este mesmo ensaio o valor adquirido foi de 0,5 kPa e 0,2 kPa. Remde (2017) aferiu valores para S_u

em 12 pontos, com o ensaio do cone obteve valores de 0,9 kPa até 5,75 kPa, e a porcentagem do teor de umidade dessas amostras todas estiveram acima de 100%, assim como encontrado no presente trabalho.

Como o ensaio da palheta foi realizado somente o BAG3 e teve o valor encontrado de 3,7 kPa, este resultado foi comparado ao resultado encontrado pelo ensaio do cone para o mesmo material retido e foram muito distintos s valores. Os valores encontrados na pesquisa de Remde (2017), corroboram com o encontrado neste trabalho, visto que nos seus 12 pontos de observação o autor encontrou valores na faixa de 0,4 kPa a 4,10 kPa.

5.9. Difração de Raio X – DRX

Os difratogramas de raios X da amostra foram gerados para a amostra original sem adição de polímero retirada do tanque em que a amostra fica armazenada e para a amostra com a adição de polímero, do material retido no BAG2 após o ciclo de enchimento. O tratamento dos dados ocorreu no *software* livre *Match Quick Start*, versão 1.11, aplicando técnicas quantitativas que indicaram a intensidade dos picos onde foi possível identificar a predominância dos elementos na amostra. A figura 5.31 apresenta os dois difratogramas de raio X para a amostra, com e sem polímero.

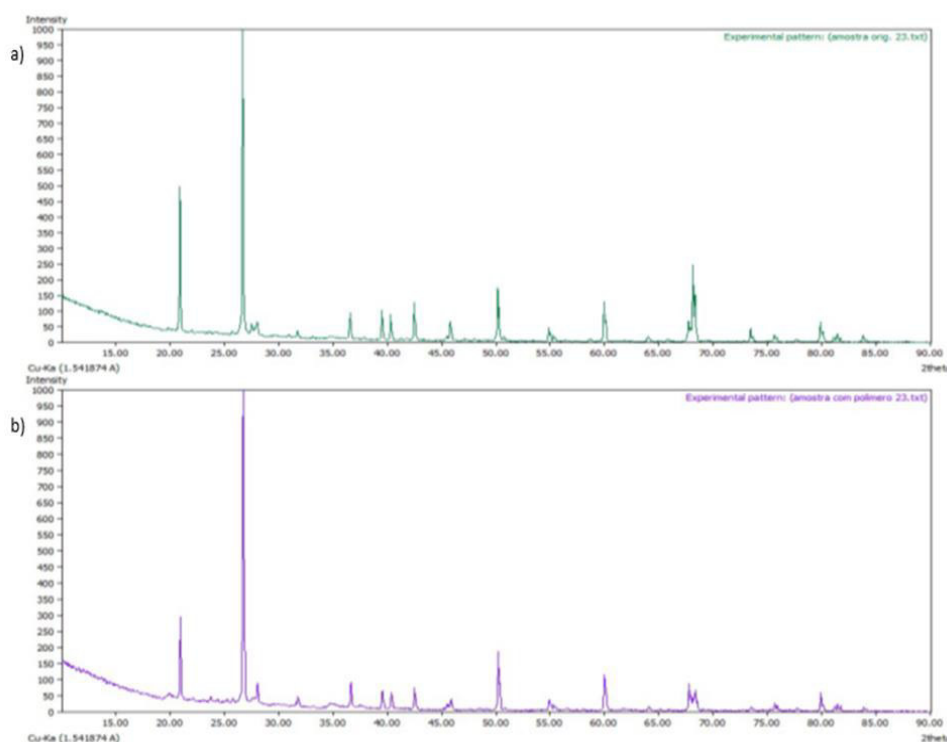


Figura 5.31– Difratograma de Raio x para o sedimento de dragagem do canal de acesso do Porto de Rio Grande. a) amostra original sem polímero;
b) amostra com polímero.

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. Na figura 5.32 é apresentado os elementos de caulinita presentes na amostra original.

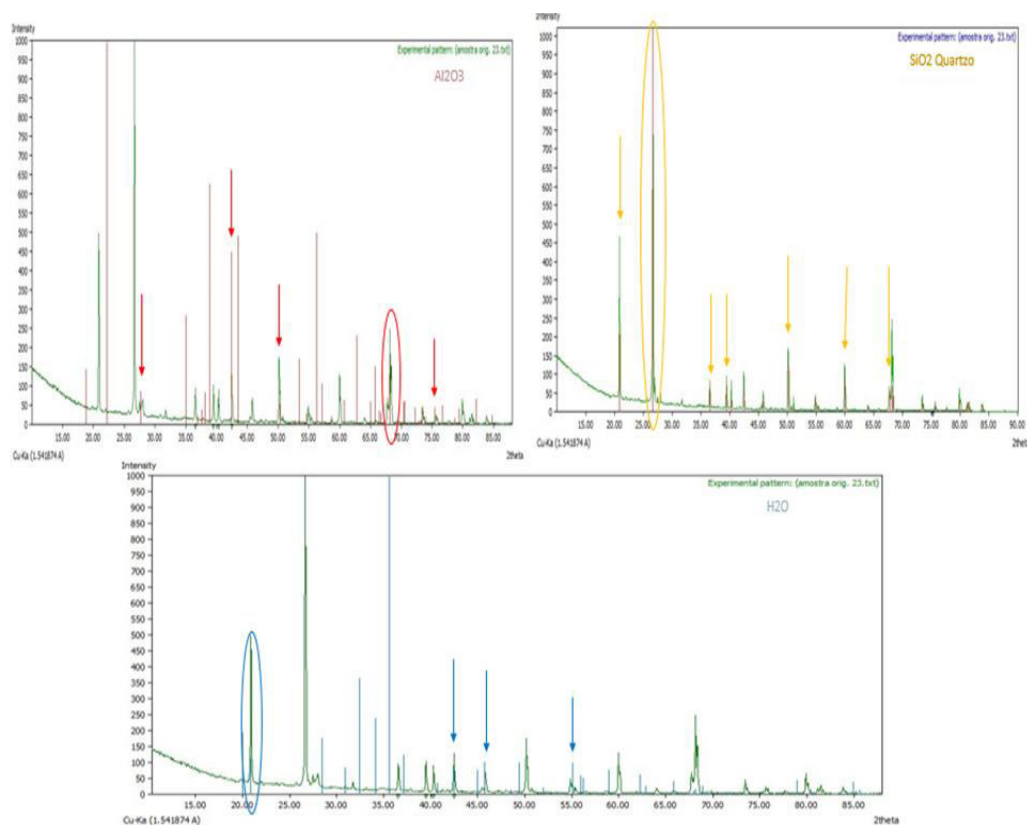


Figura 5.32 – Elementos presentes na amostra original

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 presença de quartzo, muscovita, k-feldspatos, illita e caulinita. Em estudos desenvolvidos por Vitorino (2009) com lodo de ETA (estação de tratamento de água) o autor justifica que o sedimento presente no decantador apresenta uma quantidade maior de SiO_2 devido à maior presença de areia fina, e o sedimento do filtro possui uma maior quantidade de Al_2O_3 a qual está associada, à caulinita.

O autor ainda afirma que este mineral apresenta tamanho de partícula extremamente pequeno o que dificulta sua decantação. Na tabela 5.4, é apresentado quantitativamente a intensidade e a frequência dos elementos para a amostra original em função do ângulo.

Os resultados obtidos para a amostra de sedimento sem a presença de polímero corroboram com estes estudos de Vitorino (2009) e Remde (2018), 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 também dos outros elementos da caulinita, além de através da análise quantitativa foi possível observar a presença de feldspatos na amostra.

Tabela 5.4- Análise quantitativa da intensidade e frequência dos elementos na amostra original em função do ângulo.

Ângulo 2 θ	Intensidade	FWHM	Elemento	Ângulo 2 θ	Intensidade	FWHM	Elemento
13.67	5.90	0.1002	D	5.48	7.27	0.1002	B,D
20.88	340.57	0.0854	A	58.61	5.71	0.1002	B,C,D
25,72	7,11	0,1002	D	58.78	5.78	0.1002	D
26.67	1000.00	0.1115	A	59.97	115.35	0.1007	A
27.01	371.53	0.0100	B,D	60.13	58.04	0.1097	B,D
27.50	8.61	0.0428	C, D	64.03	10.69	0.1002	A,B ,D
27.99	21.18	0.0924	B	67.74	69.50	0.1307	A, D
30.93	5.79	0.1002	D	67.94	32.57	0.1343	-
31.74	14.06	0.1002	B	68.16	216.35	0.1060	A,C
36.56	68.30	0.1056	A,B	68.34	132.65	0.1000	A,B,C,D
39.50	70.99	0.0982	A,	73.47	34.45	0.0997	A,B, D
40.31	49.13	0.0819	A,D	73.67	8.83	0.0791	D
42.47	98.43	0.1111	A,D	75.66	16.78	0.0973	A,B, D
45.50	10.24	0.1002	B	75.88	7.01	0.0743	B,D
45.81	37.07	0.1002	A,D	77.66	6.16	0.1002	A,B
45.91	20.77	0.1002	B,D	79.90	53.37	0.1109	A,B
50.15	129.04	0.0731	A,D	80.12	41.91	0.1686	A,B,D
50.28	75.56	0.0983	B,C, D	81.16	12.50	0.1053	A,B,C,D
50.77	6.98	0.0635	A,D	81.48	28.09	0.1445	A,B,C,D
54.88	33.02	0.0997	A,B	81.74	6.59	0.0742	B,D
55.03	11.42	0.0696	B,D	83.85	14.89	0.1002	A,D
55.33	11.63	0.1002	A,B	84.10	5.91	0.1002	C, D

Onde: *A = SiO₂ (Quartzo); *B = H₂O; *C = Al₂ O₃; *D = Al O₄ Pb_{0.5} Si (Feldspato);

*FWHM = largura a meia altura dos picos (*full width at half maximun*)

A amostra que foi retirada do interior do BAG2 (apresentado a seguir) após o fim do ciclo de enchimento com a presença de polímero apresentou elementos diferentes em seus difratograma, sendo formada por 94% de quartzo, 4,69 % de magnésio cromado, 1,24% de berlinita e 0,07% de dirubidium heptaóxodimolibdato. A figura 5.33 expressa a presença dos elementos.

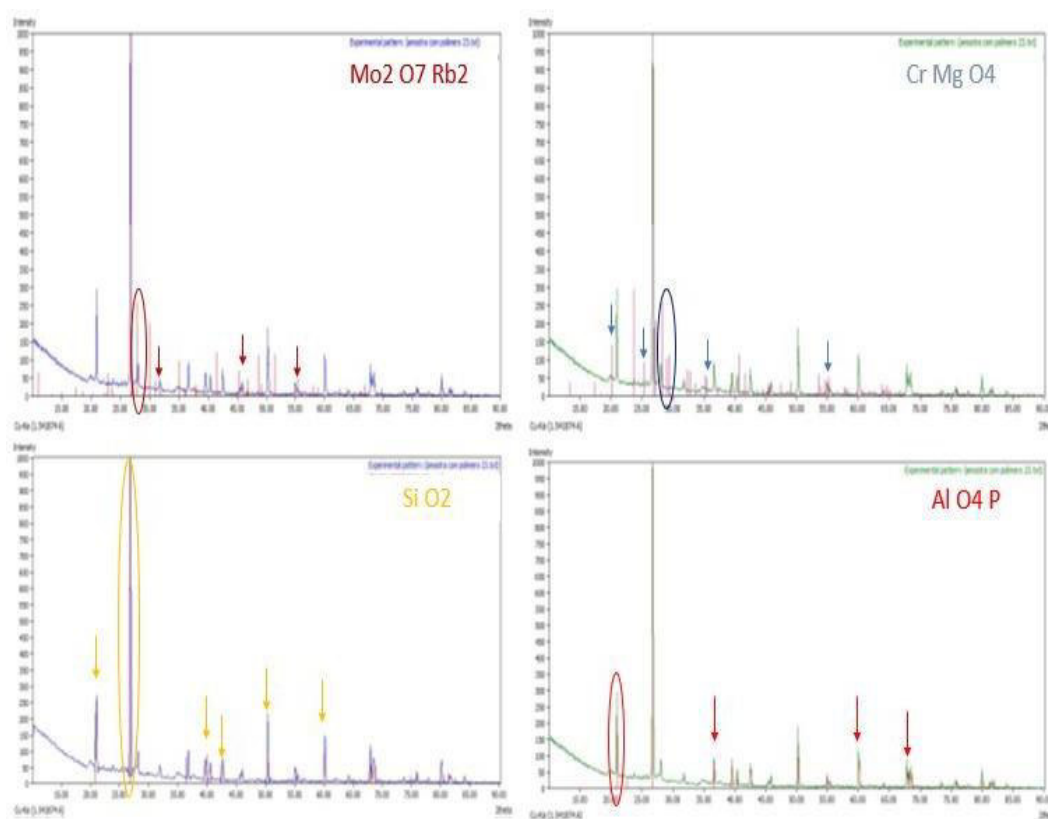


Figura 5.33 – Elementos presente na amostra de solo com polímero no ensaios DRX.

A tabela 5.5 é apresenta quantitativamente a intensidade e a frequência dos elementos para a amostra com polímero em função do ângulo. A partir dos resultados encontrados para a amostra com polímero, observa-se um comportamento distinto as duas amostras analisadas no DRX, mesmo o difratograma apresentando picos semelhantes, neste caso a dois pontos que chama a atenção. O primeiro é a presença de novos elementos químicos e a presença dos mesmos mais distribuídas ao longo do mesmo ângulo no difratograma, quase não aparecendo somente um elemento isolado por ângulo, na maior dos grandes picos é verificada a presença dos quatro elementos juntos A, B, C e D.

Tabela 5.5 - Análise quantitativa da intensidade e frequência dos elementos na amostra com polímero em função do ângulo

2 θ	Intensidade	FWHM	Elemento	2 θ	Intensidade	FWHM	Elemento
11.25	22.92	0.2004	A	39.21	3.66	0.2004	A,C
13.03	12.54	0.2004	A,C	9.67	65.84	0.2004	A,B,D
13.75	13.68	0.2004	C	40.10	3.10	0.2004	A,C
14.59	5.66	0.2004	A	40.51	54.25	0.2004	A,B,D
15.99	2.87	0.2004	A	40.93	7.80	0.2004	A,C
17.03	3.40	0.2004	A,C	41.37	3.13	0.2004	A,C
20.03	19.79	0.2004	C	41.87	4.91	0.2004	C
20.40	10.04	0.2004	A,C	42.65	69.97	0.2004	A,B,C,D
21.07	226.10	0.2004	B,D	44.88	2.17	0.2004	A,C,D
22.21	9.58	0.2004	A,D	45.31	5.11	0.2004	A,C
23.19	6.65	0.2004	A	45.65	21.17	0.2004	A,C
23.84	19.88	0.2004	A, C	46.00	35.63	0.2004	A,B,C,D
24.49	12.62	0.2004	D	47.13	3.29	0.2004	A,C
25.39	20.23	0.2004	A,C	47.80	4.69	0.2004	A,C
26.43	22.58	0.2004	A	48.82	5.93	0.2004	A
26.86	1000.00	0.2004	A,B,C,D	49.92	4.66	0.2004	A,C,D
27.30	24.73	0.2004	A,C	50.36	214.00	0.2004	B,C,D
27.74	34.84	0.2004	A	50.87	10.19	0.2004	A,B,C
28.16	80.34	0.2004	A,C	52.88	2.57	0.2004	A,C
28.89	10.46	0.2004	A,C	53.99	6.55	0.2004	A,C
29.58	12.25	0.2004	C	55.07	45.47	0.2004	A,B,C,D
30.01	12.63	0.2004	A	55.51	21.80	0.2004	A,B,C
30.56	9.84	0.2004	C	56.66	7.74	0.2004	A,C,D
31.35	6.00	0.2004	A	57.54	3.39	0.2004	A,B,C,D
31.90	37.85	0.2004	A	60.16	145.24	0.2004	A,B,C,D
32.36	3.38	0.2004	A,C	64.22	18.71	0.2004	A,B,C,D
32.48	3.41	0.2004	C,D	68.46	78.59	0.2004	A,B,C,D
33.27	5.99	0.2004	A,C	76.28	3.36	0.2004	A,C
34.26	2.14	0.2004	A	77.87	16.88	0.2004	A,B,C,D
34.85	18.97	0.2004	A,C	78.80	2.01	0.2004	A,C,D
35.24	16.76	0.2004	A,C	80.09	71.52	0.2004	A,B,C,D
35.99	7.81	0.2004	A	81.36	22.54	0.2004	A,B,C,D
36.36	4.56	0.2004	A,C	84.05	21.38	0.2004	B,D
36.78	89.00	0.2004	A,B,D	86.61	2.88	0.2004	C
37.21	5.36	0.2004	A,C	87.60	5.59	0.2004	B,C
37.62	13.89	0.2004	A,D	86.61	2.88	0.2004	C
37.92	8.26	0.2004	A	87.60	5.59	0.2004	B,C
38.45	3.72	0.2004	A	89.73	2.79	0.2004	C

Onde: *A= Mo₂ O₇ Rb₂ (dirubidium heptaoxodimolybdate); *B= SiO₂ (Quartzo); *C= Cr Mg O₄ (Magnésio cromado); *D= Al O₄ P (Bertonita); *FWHM= largura a meia altura dos picos (*full width at half maximum*)

O primeiro é a presença de novos elementos químicos e a presença dos mesmos mais distribuídas ao longo do mesmo ângulo no difratograma, quase não aparecendo somente um elemento isolado por ângulo, na maior dos grandes picos é verificada a presença dos quatro elementos juntos A, B, C e D. O caso mais nítido é no maior pico presente no ângulo de $2\theta = 26,86^\circ$, para a amostra com polímero neste pico é observado a presença dos 4 elementos (figura 34.a), já na amostra original só aparece os elementos SiO₂ que representam a composição mineralógica do Quartzo (figura 34.b).

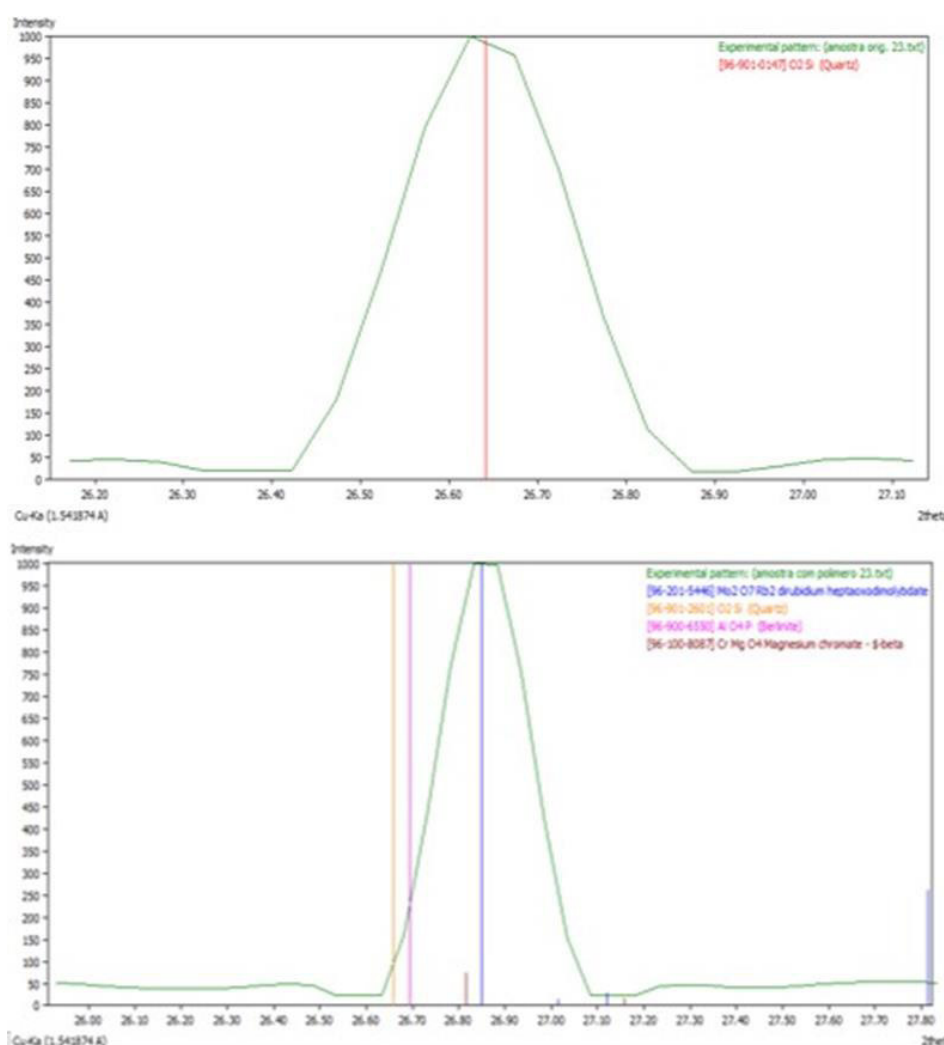


Figura 5.34– Pico de maior incidência no difratograma e seus componentes químicos no ensaio DRX.

O segundo ponto é o fato do FWHM (*full width at half maximum*), apresentar o mesmo valor ao longo de toda amostra com polímero, e na amostra original apresentou

valores diferentes para cada ângulo, esta teoria parte do princípio que se possa obter uma forma correta para a intensidade refletida para cristais perfeitos e mostrar que ela é proporcional ao módulo do fator de estrutura, diferentemente da teoria cinemática, onde a intensidade é proporcional ao quadrado do mesmo. Deste modo o FWHM é proporcional ao módulo do fator de estrutura e que o centro da reflexão é ligeiramente deslocado do ângulo.

Segundo Muniz (2017), partindo do FWHM, é possível obter uma forma correta para a expressão da intensidade refletida para cristais perfeitos e analisar a divergência entre previsões teóricas e as medidas experimentais. Para a melhor compreensão do resultado de FWHM, seria necessário analisar o mesmo estatisticamente, a fim de compreender melhor a fase cristalina bem como sua região de validade (com respeito ao tamanho de cristalito).

5.9. Microscopia de varredura eletrônica

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, o aparelho que é acoplado no microscópio do laboratório do CEME SUL, encontra-se em manutenção e não foi possível realizar essa análise especificamente. Foi possível apenas a obtenção de imagem para analisar a morfologia do material. Na figura 5.35 é possível observar as imagens referentes a morfologia do sedimento de dragagem original.

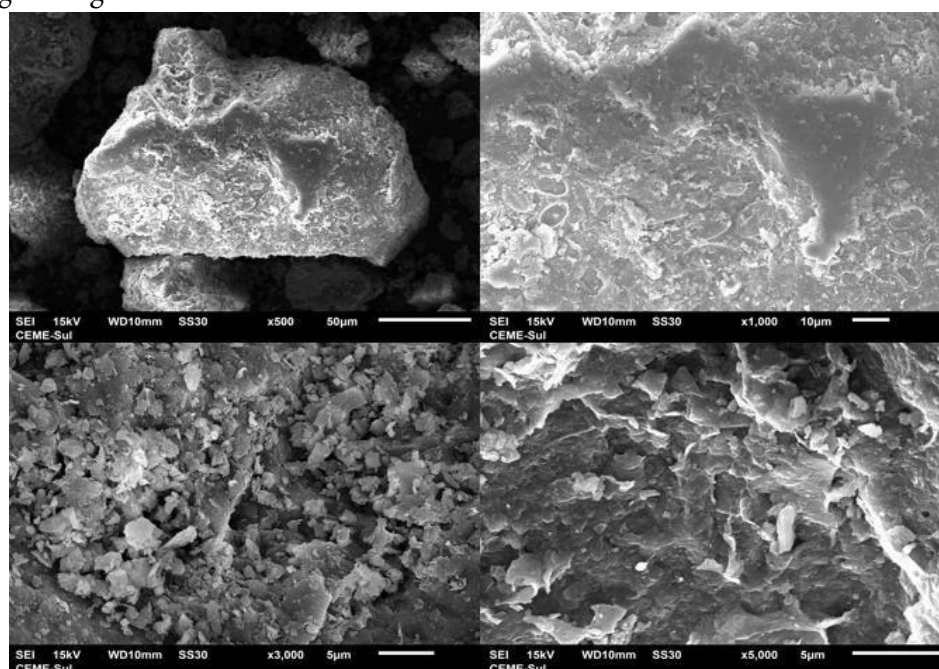


Figura 5.35 - Microscopia de varredura da amostra original do tanque.

Cabe ressaltar que para análise do sedimento original armazenado no tanque com água salgada, a fim de preservar as características originais do material, o sedimento foi seco em estufa a 60°C para evitar perda de matéria orgânica, destorreado e por fim levado para análise no MEV. Foi possível observar através da microscopia a presença da estrutura do sedimento aumentado até 5 mil vezes. Na imagem aumentada 3 mil vezes estrutura mostra um aspecto mais esponjoso e na imagem 5 mil vezes é observado que a estrutura apresenta ligações similares a fibras.

Foi realizada a mesma análise para o sedimento com o condicionante químico, a fim de averiguar se existia mudança na estrutura do sedimento quando este combinado ao polímero, retirada de dentro do BAG2, após o ensaio de bolsa de pequena dimensão. O material foi colocado na estufa e seco a 60°C e destorreado, pois não é possível realizar análise se o material apresentar umidade, devido aos feixes do microscópio não conseguirem refletir se caso a amostra estiver úmida. Na figura 5.36 é visto o comportamento do sedimento com polímero testado neste estudo.

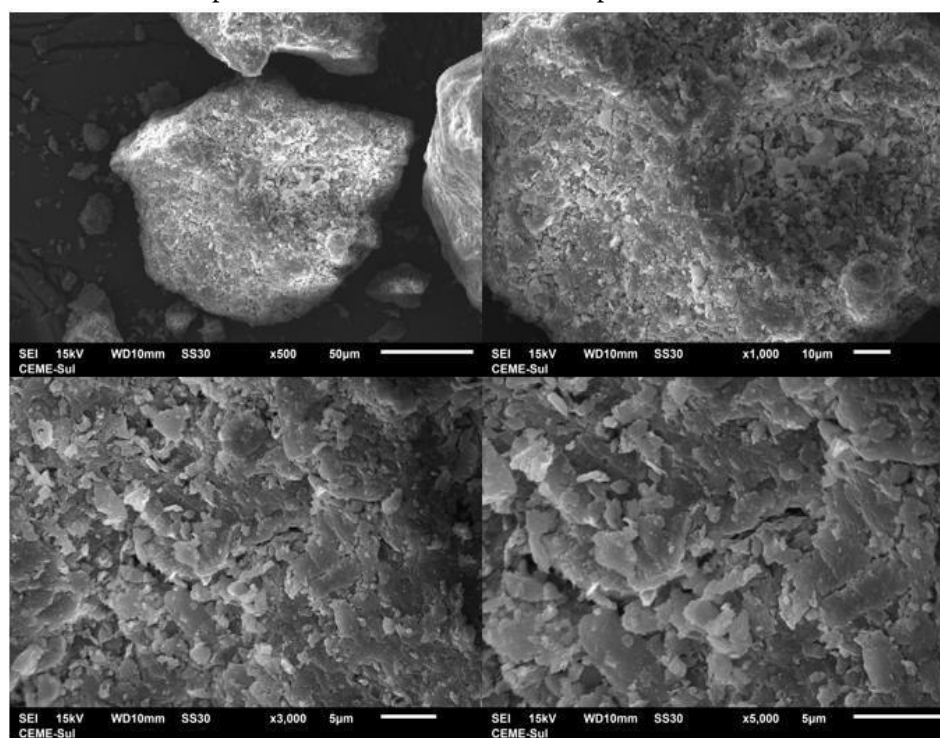


Figura 5.36 - Microscopia de varredura da amostra com polímero retirada no bag.

Nota-se que a estrutura apresentou uma similaridade na imagem aumentado 1000 vezes, porém à medida que está é aumentada pode-se observar a diferença e não mais a presença das “fibras” e sim um aspecto mais granular com formatos mais arredondados. Na Figura 5.37, foi colocada as imagens obtidas a 1000 vezes e 5000 vezes de aproximação para o sedimento original e o sedimento retirado da torta do BAG2, afim de melhor comparar o comportamento do material.

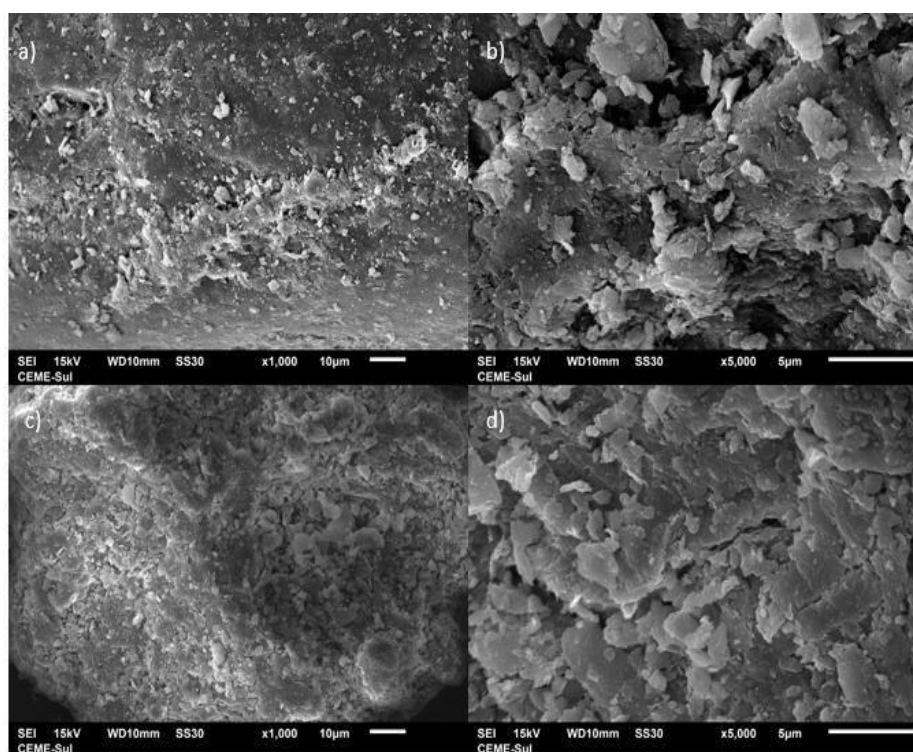


Figura 5.37- Comparação entre amostra original e amostra com polímero. a) sedimento original (1000 vezes); b) sedimento original (5000 vezes); c) sedimento com polímero (1000 vezes); d) sedimento com polímero (5000 vezes).

Portanto, através desta comparação observamos melhor a diferença entre os dois materiais, as imagens superiores do mosaico são do sedimento original e as inferiores a retirada do bag com polímero. Na imagem referente ao aumento de 1000 vezes do sedimento original, observa-se o comportamento mais poroso e granular, já na imagem de aumento de 1000 vezes retirada do bag com polímero, a estrutura é mais lisa e regular. Para o aumento de 5000 vezes também é mais evidente a diferença, pois para o sedimento com polímero quase não é observado estruturas dispersas, como observado no sedimento original. A estrutura com polímero embora similar a original, mostra sua peculiaridade em relação a tamanho dos grãos.

Por último foi feita a análise do sedimento retido no BAG1, com um único ciclo de enchimento e sem a adição do polímero, o qual apresentou perceptível separação dos sedimentos de argila e areia retidos no geotêxtil, como é observado no item 5.7. Sendo assim decidiu-se analisar uma amostra de cada faixa (argila e areia) deste material. O sedimento foi separado a olho nu, seco a 60° e destorroado conforme o procedimento necessário para a realização do MEV. A Figura 5.38, apresenta os resultados obtidos para esta análise.

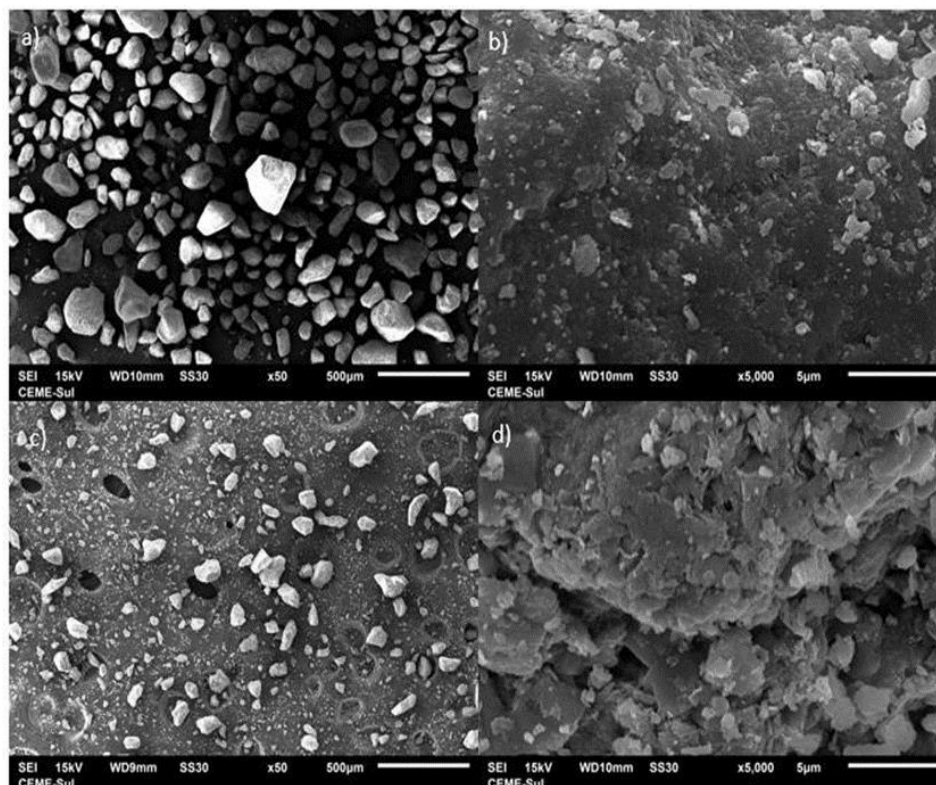


Figura 5.38 - Comparação entre amostra de areia e argila presentes na amostra retida no bag sem polímero. a e b) imagens de areia com aumento de 1000 vezes e 5000 vezes; c e d) imagens de argila com aumento de 1000 vezes e 5000 vezes.

As imagens do MEV da figura 5.38, apresentam a maior clareza na discrepância do material da amostra, nas imagens da parcela de areia, é perceptível a mudança na estrutura que forma o sedimento com aspecto mais granular e uma simetria mais regular entre os grãos, a não existência de tantos poros e na imagem de 5000 vezes uma maior homogeneidade dos grãos. Já para as imagens de argila os grãos não apresentaram uniformidade, é possível observar mais poros e partículas quebradiças na imagem de 1000 vezes de aumento.

A imagem da argila de 5000 vezes de aumento mostra uma forma mais esponjosa e um aspecto morfológico bem parecido com a imagem aumentada 5000 vezes do sedimento com polímero. Ambas amostras são interessantes exatamente para conseguirmos estimar um pouco mais sobre o comportamento deste sedimento.

6 | Conclusão

Os estudos que envolvem alternativas para a disposição adequada de material dragado em alto mar ou em terra, bem como a reutilização de sedimentos dragados tentam minimizar os impactos ambientais e evitar os lançamentos inadequados desses rejeitos. Uma alternativa que vem sendo aplicada com sucesso é a utilização de bolsas em geotêxtil (geoformas têxteis, geocontêineres, geobags, entre outros) que promovem o desaguamento e disposição controlada de sedimentos.

Os mecanismos para disposição de sedimentos em sistemas de confinamento de resíduos, são influenciados pelas propriedades do geotêxtil, propriedades do material de enchimento e pelas condições de solicitações do sistema

Os sedimentos dragados podem ser utilizados de várias maneiras, tais como, para a proteção costeira, transpasses de areia em espigões, alimentação de praias, bermas *off-shore*, construção de biques, entre outros.

O objetivo geral desta pesquisa é analisar o comportamento dos sedimentos retirados na dragagem de manutenção realizada no ano de 2019 do canal de acesso ao porto de Rio Grande, quando confinados em um sistema de confinamento de resíduo, bolsas geotêxteis fechadas de pequenas dimensões, permitindo assim a reutilização do material futuramente.

O sedimento dragado, em estudo foi classificado como solo “SC”, por meio do SUCS, enquadrado como Areia argilosa e através da HRB, o solo foi classificado como solo A-7- 6 (4). Os valores de Ia encontrados no presente trabalho foi de 0,88 e 0,47 portanto caracterizando o material como inativo, indicando a presença predominante de argilominerais 1:1.

Durante o estudo foram utilizados 10 diferentes polímeros, sendo eles catiônicos e aniônicos, em diferentes concentrações e dosagens, tendo como objetivo de verificar a necessidade e os efeitos do uso destes para o condicionamento dos sedimentos. Todos os 10 polímeros foram testados em 5 faixas de concentração de ppm e homogeneizados com o sedimento, a fim de encontrar a dosagem ótima de cada polímero, as faixas de dosagem foram de 100, 130, 160, 190 e 210 ppm.

No desenvolvimento deste trabalho foram realizados testes de desaguamento rápido (RDT), verificando as eficiências do sistema em três geotêxteis diferentes, com e sem a adição de polímero. ensaio de bolsas de pequenas dimensões, geossintéticos. A última etapa do estudo consistiu na instalação piloto do ensaio com mini bolsas (ensaio em bolsas de pequenas dimensões).

Ao final dos ciclos de enchimento foram realizados os ensaios de ensaio de cone de queda e palheta de laboratório para análise da resistência não drenada do material. Foram realizados também ensaios de difração de raio x no sedimento com e sem a adição de polímero, e ensaios de microscopia de varredura eletrônica.

Neste estudo de caso, foi perceptível o sucesso da aplicação da técnica de confinamento de resíduos em um SCR, em escala reduzida, no entanto está atrelado ao estudo das condições do material retido, de modo que a caracterização do sedimento (lodo) a ser armazenado é de extrema importância.

Embora neste estudo sejam apresentados resultados satisfatórios para o uso de SCR aplicável para o resíduo de dragagem, estudos em escala real devem ser feitos para validação do comportamento das variáveis aqui apresentadas.

A caracterização geotécnica dos sedimentos atreladas a dosagem ótima do polímero é indispensável para a eficiência do sistema, pois uma dosagem inadequada pode acabar prejudicando o desempenho do sistema, diminuindo a eficiência de desaguamento e gerando tortas de lodo mais úmidas.

Deste modo o teste de desaguamento rápido tem grande significância no estudo visto a partir dele é possível verificar qual o melhor geotêxtil combinado com o polímero.

Observou-se nesta pesquisa a importância de realizar ensaios para a determinação da dosagem do polímero, já que uma dosagem excessiva ou insuficiente pode prejudicar o desempenho do sistema de desaguamento em geotêxtil.

Dentre as técnicas de desaguamento utilizando geotêxtil o uso de SCR é possível notar que durante ciclos de enchimentos ocorre mudanças no funcionamento do sistema, como por exemplo a estabilidade da umidade dentro da torta retida e a diminuição de partículas passante conforme vai ocorrendo os ciclos.

Para trabalhos futuros, sugere-se o estudo das diferenças de deságue entre SCR com preenchimento manual e mecânico, assim como um maior tempo para análise da curva de secagem.

Realizar mais ciclos de enchimento para verificar qual a capacidade máxima de enchimento da mini bolsa geotêxtil.

Avaliar o tempo máximo e mínimo de secagem (curva de secagem) em função do teor de sólidos no resíduo a ser desaguado, possibilitando simulações do desaguamento próximas da escala real.

Explorar as eficiências dos demais polímeros que apresentaram concentração de 200 ppms em ensaios de desaguamento rápido.

Estudar os outros geotêxteis testados apenas no ensaio de desaguamento rápido com os sedimentos dragados em outros pontos do canal de acesso.

Investigar parâmetros geotécnicos como resistência não drenada, através do ensaio de mini palheta com cravação total, assim como realizar ensaio de adensamento.

Ainda, sugere-se o estudo da influência das dimensões e resistência do próprio geotêxtil em relação ao volume de torta retido em um SCR. E análise hidroquímica do efluente percolado afim e comparar com as exigências da legislação para o descarte do resíduo de dragagem.

Referências

- ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. NBR ISO 9.864 (2013) Geossintéticos - Método de ensaio para determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos correlatos.
- _____-NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- _____-NBR ISO 10.319 (2013) Geossintéticos - Ensaio de tração faixa larga.
- _____-NBR ISO 11.058 (2013) Geotextiles And Geotextiles-Related Products - Determination Of Water Permeability Characteristics Normal To The Plane, Without Load.
- Achon, C. L., Barroso, M. M., Cordeiro, J. S. Leito de Drenagem: Sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 13, jan/mar 2008.
- Alfredini, P.; Arasaki, E. (2013). Engenharia Portuária: A Técnica Aliada Ao Enfoque Logístico. São Paulo: Edgard Blücher, 2013. 1290 P.
- Amaral, N.B. (2019) Geossintéticos Aplicados A Geotecnia Ambiental. Trabalho De Conclusão De Curso Em Engenharia Civil Do Centro De Tecnologia Da Universidade Federal Da Paraíba, Brasil, P.82.
- Antaq (2010). Agência Nacional De Transportes Aquaviários. Meio Ambiente - Antiqueira, J. A. F; Calliari L. J. Características Sedimentares Da Desembocadura Da Laguna Dos Patos. Gravel, N. 3, P. 39-46, 2005.
- Aragona, M. P. Roteiro Para Contratação De Dragagem De Manutenção Em Portos Públicos Marítimos Brasileiros Licenciados Como Ferramenta De Gestão Portuária. 2018. 51f. Trabalho De Conclusão De Curso Em Engenharia Hídrica, Centro De Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal De Pelotas, Pelotas, 2018.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas - Abnt. Nbr 12007 Solo – Ensaio De Adensamento Unidimensional – Método De Ensaio. Rio De Janeiro, 15p, 1990.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas – Abnt. Nbr 13600 Solo - Determinação Do Teor De Matéria Orgânica Por Queima A 440°C. Rio De Janeiro, 2p, 1998.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas – Abnt. Nbr 6458 - Grãos De Pedregulho Retidos Na Peneira De Abertura 4,8 Mm – Determinação Da Massa Específica, Da Massa Aparente E Da Absorção De Água. Rio De Janeiro, 10p, 2016.
- 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 6502 Rochas E Solos. Rio De Janeiro, 18p, 1995.
- 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 7181 Solo – Análise Granulométrica. Rio De Janeiro, 13p, 2016
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. Nbr 12553: Geossintéticos:
- Astm D7880 / D7880m-13, Determining Flow Rate Of Water And Suspended Solids Retention From A Closed Geosynthetic Bag, Astm International, West Conshohocken, Pa, 2013, [Www.Astm.Org](http://www.Astm.Org)
- Avancini, L.L.S. (2017) Análise Do Desagüamento Do Lodo De Estação De Tratamento De Água Em Sistemas De Confinamento Em Geotêxtil. Dissertação De Mestrado Em Engenharia De Infraestrutura Aeronáutica – Ita, São José Dos Campos, 135 F.
- Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C., Ayup-Zouain, R. N. Cronoestratigrafia Da Bacia De Pelotas: Uma Revisão Das Sequências Depositionais. Gravel, V. 6, N. 1, P. 125-138, 2008.
- Barrett, R. J. "Use Of Plastic Filters In Coastal Structures. In: 10th Conference On Coastal Engineering. P.1048-1067, Tokyo, Japan, 1966.
- Benevenuto, F. H.; Junior, W. S.; Neto, M.M.C, (2017), Uso Dos Geossintéticos Na Construção Civil. Repositório Unitoledo – Engenharia Civil. Disponível Em: [Http://Www.Unitoledo.Br/Repositorio/Handle/7574/215](http://Www.Unitoledo.Br/Repositorio/Handle/7574/215).
- Braja M. Das. Fundamentos De Engenharia Geotécnica - Tradução Da 7ª Edição Norte-Americana. Editora Cengage Learning. 2011.
- Bray, R. N. Environmental Aspects Of Dredging. Londown, Uk, Taylor & Francis, 2008.
- Bray, R.N., A. D. Bates. & J. M. Land. 1997. Dredging, A Handbook For Engineers. John Wiley & Son, Inc. Second Edition. New York, 434 P.
- Bueno, G. V., Zacharias, A. A., Oreiro, S. G. Bacia De Pelotas. Boletim De Geociências Da Petrobrás, V. 15, N.2, P. 551-559, 2007.
- Burgueño, L. E. T. (2009) Estimativas Da Contaminação Dos Sedimentos Dragados No Porto De Rio Grande Para Disposição Em Solo. Dissertação De Mestrado Em Engenharia Oceânica, Universidade Federal Do Rio Grande.
- Calliari, L. J. (1998). Características Geológicas Em: Seeliger, U., Odebrecht, C. & Catello, J. P. (Eds.). Os Ecossistemas Costeiro E Marinho Do Extremo Sul Do Brasil, 9-12 Pp. Editora Ecoscientia. Rio Grande.
- Calliari, L. J.; Winterwero, J. C.; Fernandes, E.; Cuchiara, D.; Vinzon, S. B.; Sperle, M.; Holland, K. T. Fine Grain Sediment Transport And Deposition In The Patos Lagoon – Cassino Beach Sedimentary System. Continental Shelf Research, V. 29, N. 3, P. 515 – 529, 2009.
- Calliari, L.J. (1980). Aspectos Sedimentológicos E Ambientais Na Região Estuarial Da Lagoa Dos Patos. Dissertação De Mestrado. Instituto De Geociências Da Ufrgs.

- Campbell, H. W.; Plaisier, M.; Cers, V. Full-Scale Demonstration Of Polymer Optimization Technology. In: Weftec'96 – Water Environment Federation 69TM Annual Conference & Exposition, Dallas, 1996. Proceedings...Alexandria:WEF, 1996.P.197-98.
- Carneiro, J. R. C. 2009. 602 f. Durabilidade de Materiais Geossintéticos em Estruturas de Carácter Ambiental - A Importância da Incorporação de Aditivos Químicos. Portugal. Tese de Doutorado. Universidade do Porto, Portugal, 2009.
- Castro, S. M; Almeida, J. R., (2012), Dragagem e conflitos ambientais em portos clássicos e modernos: uma revisão, Soc. & Nat., Uberlândia, ano 24 n. 3, 519-534, set/dez. 2012.
- Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo - Cetesb, 2016. Mineração Por Dragagem – Procedimento.
- Conceição, R. A. A. (2016); Gestão De Dragagens Portuárias – Alguns Aspectos Geotécnicos E Geoambientais. Dissertação Para Obtenção Do Grau De Mestre Em Engenharia Geológica. Faculdade De Ciências E Tecnologia - Universidade Nova De Lisboa.
- Conselho Nacional Do Meio Ambiente - CONAMA, 2004. Resolução N° 344, De 25 De Março De 2004. Diretrizes Gerais Para A Avaliação Do Material A Ser Dragado Em Águas Jurisdicionais Brasileiras, Visando O Gerenciamento De Sua Disposição. Conselho Nacional Do Meio Ambiente. Ministério Do Meio Ambiente. 10pp.
- Conselho Nacional Do Meio Ambiente – CONAMA, 2012. Resolução No 454 De 01 De Novembro De 2012. Estabelece Diretrizes Gerais E Os Procedimentos Referenciais Para O Gerenciamento Do Material A Ser Dragado Em Águas Sob Jurisdição Nacional.
- Couto, J. L. V.; Geotubos. 2011. Disponível Em: [Http://Agronomos.Ning.Com/Profiles/Blogs/Geotubos](http://Agronomos.Ning.Com/Profiles/Blogs/Geotubos).
- Di Bernardo, L., Dantas, A. D., Voltan, P. E. N. Métodos E Técnicas De Tratamento E Disposição Dos Resíduos Gerados Em Estações De Tratamento De Água. Editora Ldibe, São Carlos – SP, 2012. 540 p.
- Dubois, V.; Abriak, N. E.; Zentar, R.; Ballivy, G. The Use Of Marine Sediments As A Pavement Base Material. Waste Management. Volume N° 29. P 774-782. 2009.
- Eisma, D. Dredging In Coastal Waters. Londown, Uk, Taylor & Francis, 2005.
- Fadda, Eliane Areas; Vianna Jr, Edison De Oliveira (2006). Opções De Política Para O Desenvolvimento Da Dragagem No Brasil. Anais Do 21º Congresso Nacional De Transportes Marítimos, Construção Naval E Offshore. Sobena. Firjan. Rj. 27 Nov – 1 Dez. 2006.
- Fadda, E. A. (2012). Instrumentos Legais Aplicados À Dragagem No Brasil. Revista Direito Aduaneiro, Marítimo E Portuário. V. 1, N. 6, P. 64–77, Jan./Fev. 2012.

- Fontana, R. L. 1990. Investigações Geofísicas Preliminares Sobre O Cone De Rio Grande, Bacia De Pelotas - Brasil. *Acta Geol. Leopold.*, 13(30):161-170
- Fowler, J.; Bagby, R. M.; Trainer, E. Dewatering Sewage Sludge With Geotextile Tubes. *Geotechnical Fabrics Report*, V. 15, N.7., P. 26-30, 1997.
- Gaffney, D. A., Martim, S.M., M.H., Bennert, T.A. Dewatering Contaminated, Finegrained Material Using Geotextiles. *Si Geosolutions*, 1999.
- Garcia, S. M. P. Aplicação informática de apoio à seleção de sistemas de protecção costeira com geossintéticos. Dissertação de mestrado em Engenharia Do Ambiente, Feup. Porto, 2007.
- Goes Filho, H. A., 1979, “Planejamento De Dragagem”, In: Boletim Técnico Da Associação Latino-Americana De Dragagem, N° 2, Pp 9-20, Dez 1979.
- Goes Filho, H. De A. Dragagem E Gestão Dos Sedimentos. Dissertação De Msc, Ufrj, Rio De Janeiro, Rj, 2004.
- Granato, F.C. (2005). Subsídios Técnicos Para O Estabelecimento De Um Plano De Gerenciamento Ambiental Integrado Do Processo De Dragagem Do Porto De Rio Grande – RS. Dissertação De Mestrado Do Programa De Pós-Graduação Em Oceanografia Física, Química E Geológica, Fundação Universidade Federal Do Rio Grande.
- Gri (Geosynthetic Research Institute). 2009. Standard Test Method For The Pillow Test For Field Assessment Of Fabrics Additives Used For Geotextile Bags, Containers, And Tubes. *Geosynthetics Institute (Gsi)*, Folsom, Ca, Usa, Gri-Gt15.
- Guanaes, E.A. (2009) Análise Laboratorial Do Desaguamento Do Lodo Residual De Estação De Tratamento De Água Por Meio De Geossintéticos. Dissertação De Mestrado Centro Federal De Educação Tecnológica De Minas Gerais – Cefet Mg – Belo Horizonte, 115p.
- Guimarães, M. Urashima, D; Vidal, D. Dewatering Of Sludge From A Water Treatment Plant Ingeotextile Clodesd Systems. *Geosynthetics International*, V. 21, P. 310-320, 2014.
- Haak, W. Condicionamento Químico De Lodo De Estação De Tratamento De Água Com Monitoramento Através De Potencial. 2011. 235 F. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual De Campinas, Campinas, 2011.
- Hornsey, W.P.; Carley, J.T.; Coghlan, I.R.; Cox, R.J. Geotextile Sand Container Shoreline Protection Systems: Design And Application. *Geotextiles And Geomembranes* 29 (2011) 425-439. [Http://Www.Planalto.Gov.Br/Ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12815.Htm](http://Www.Planalto.Gov.Br/Ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12815.Htm)
- Iadc - International Association Of Dredging Companies. *Dredging For Development*. Bray & Cohen. New Jersey, USA, 2010.

- Jdn (2018). Jan De Nul. Dredging Equipment - Cutter Suction Dredger. 2018. Disponível Em: [Http://Www.Jandenul.Com/En/Equipment/Fleet/Cutter-Suctiondredger](http://Www.Jandenul.Com/En/Equipment/Fleet/Cutter-Suctiondredger).
- Kerstner, V. W. T., 2003. Avaliação Do Comportamento Geotécnico E Geoquímico De Rejeitos De Dragagem Do Porto Novo De Rio Grande. Dissertação De Mestrado Em Engenharia Oceânica, Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Oceânica, Universidade Federal Do Rio Grande.
- Khachan, M. M Et Al. Comparative Dewatering Performance Of Slurries Conditioned With Synthetic Polymer Vc. Eco-Friendly Polymer. Geo-Frontiers 2011: Advances In Geotechnical Engineering, Reston, Va, P. 3050-3058, 2011.
- Kim, H. J.; Park, T. W.; Dinoy, P. R.; Kim, H. S. And Kim, H. J.; Design And Consolidation Analysis Of Geotextile tubes For The Saemangeum Project In Korea. Geosynthetics International, 2018, 25, No. 5.
- Koerner G. R.; Koerner R. M. Geotextile Tube Assessment Using A Haging Bag Test. Geotextiles And Geomenbranes, V 24, Págs. 129-137, 2006.
- Lawson, C. R. "Geotextile Containment For Hydraulic And Environmental Engineering", Geosynthetics International, V. 15, N. 6, P. 384-427, 2008.
- Leshchinsky, D., Leshchinsky, O. Geosynthetic Confined Pressurized Slurry (Geocops): Supplemental Notes: Technical Report Cpae-GI-96-1. Waterways Experiment Station, Us Army Corps Of Engineers, 54 P, 1996.
- Liao, K.; Bhatia, S. K. "Geotextile Tube: Filtration Performace Of Woven Geotextiles Under Pressure". In: North American Geosynthetic Conference. Usa, 2005.
- Lima, L. R. S. (2008), Dragagem, Transporte E Disposição Final De Sedimentos De Leito De Rio, Estudo De Caso: Calha Do Rio Tietê – Fase Ii. Dissertação De Mestrado Em Engenharia. Universidade De São Paulo, P145.
- Lima, R.M. (2016), Desaguamento Do Lodo De Estação De Tratamento De Água (Eta) 006 Da Cidade De Palmas -To, Por Meio De Polímeros E Filtração Em Geotêxtil. Dissertação De Mestrado Em Engenharia Ambiental, Área De Saneamento Ambiental, Universidade Federal Do Tocantins, Brasil, 82p.
- 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-Geors 2019.
- Machado, A. L. (2019). Caracterização E Estudo De Propriedades Geotécnicas Do Material De Dragagem Do Canal De Acesso Ao Porto De Rio Grande. Trabalho De Conclusão De Curso Em Engenharia Civil Empresarial, Universidade Federal Do Rio Grande, Brasil, P100.
- Martins, D. W. P (2019); Dispositivo Para Ensaio Automático De Sedimentação E Análise Granulométrica Do Solo. Dissertação De Mestrado Em Engenharia Elétrica,

- Mecânica E De Computação (Emc), Universidade Federal De Goiás, Goiânia, Brasil, P 118.
- Maurer, B. W. Et Al. "Geotextile Dewatering Of Flocculated, Fiber Reinforced Fly-Ash Slurry", *Fuel*, V. 97, P. 411–417, 2012.
- Möller, O. O.; Castaing, P.; Salomon, J. C.; Lazure, P. The Influence Of Local And Non-Local Forcing Effects On The Subtidal Circulation Of Patos Lagoon. *Estuaries*, V. 24, N. 2, P. 297 – 311, 2001.
- 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.
- Monroy, R. M.; Geotubos: Contenedores De Arena, A Base De Geotextiles. Disponível Em: [Http://Topografo.Blospot.Com.Br/2010/05/Geotubos-Contenedores-De-Arena-Base.Html](http://Topografo.Blospot.Com.Br/2010/05/Geotubos-Contenedores-De-Arena-Base.Html).
- Monteiro, M. T. Fitorremediação De Rejeito Contaminado Proveniente Do Canal Do Fundão, Na Baía Da Guanabara-Rj. Tese De Dsc, Coppe-Ufrj, Rio De Janeiro, Rj, 2008.
- Moo-Young, H. K., A. G. Douglas, And X. Mo. (2002). Testing Procedures To Assess The Viability Of Dewatering With Geotextile Tubes. *Geotextiles And Geomembranes* 20(5): 289–303. Doi: 10.1016/S0266-1144(02)00028-6.
- Moo-Young, H. K., Gaffney, D. A., Mo, X. (2002). Testing Procedures To Asses The Viability Of Dewatering With Geotextiles Tubes. *Geotextiles And Geomembranes* 5 (20) 289-303. Doi:10.1016/S0266-1144(02)00028-6.
- Moo-Young, H. K.; Tucker, W. R. "Evaluation Of Vacuum Filtration Testing For Geotextile Tubes", *Geotextiles And Geomembranes*, V. 20, N. 3, P. 191–212, Jun. 2002.
- Müller, M. (2018), Efeito De Diferentes Configurações No Deságue De Lodos Em Sistemas De Confinamento De Resíduos Em Geotêxtil. Dissertação De Mestrado Em Ciências No Programa De Pós-Graduação Em Infraestrutura Aeronáutica, Área De Infraestrutura Aeroportuária, São José Dos Campos, 101f.
- Müller M., Vidal D.M. (2018) Brief Comparison Between Closed And Open Dewatering With Geotextile. 3° Iciem, Sousse, Tunisia.
- Muthukumaran, A. E.; Ilamparuthi, K. Laboratory Studies On Geotextile Filters As Used In Geotextile Tube Dewatering. *Geotextiles And Geomembranes*, V. 24, P. 210-219, 2006.
- Nogueira, K. S. (2018), Materiais Geossintéticos Em Soluções De Proteção Costeira: Revisão Da Literatura, Trabalho De Conclusão De Curso Em Engenharia Civil Da Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte, Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte, P19.

- Ortiz, R. N.; Junior, O. S.; Ladchumananandasivam, R. "Tubos De Geotêxtil Aplicados A Obras De Defesa Costeira". In: II Congresso Sobre Planejamento E Gestão Das Zonas Costeiras Dos Países De Expressão Portuguesa, Recife, Pe, 2003.
- Paixão, B. E. G., 2012. Distribuição Faciológica Da Bacia De Pelotas. Monografia De Graduação Em Oceanologia, Instituto De Oceanografia, Universidade Federal Do Rio Grande.
- Palermo, M. Et Al. "Usace Technical Guidelines For Environmental Dredging Of Contaminated Sediments" In: U.S. Army Engineer Research And Development Center - Environmental Laboratory. Vicksburg, Ms, Usa, 2008
- Pereira, F. C. S. Análise Da Disposição Do Material Dragado No Canal Do Fundão E No Canal Do Cunha – Rio De Janeiro/Rj. Dissertação De Mestrado, Universidade Do Estado Do Rio De Janeiro, Faculdade De Engenharia, 2012.
- Pianc – Permanent International Navigation Association – "Disposal Of Dredged Material At Sea". Reporto Of A Working Group Of The Permanent Technical Committee Ii, Brussels, Belgium, 1986.
- Pieper, K. M. C. Avaliação Do Uso De Geossintético Para O Deságue E Geocontenção De Resíduos Sólidos De Estação De Tratamento De Água. Dissertação De Msc, Ufrgs, Porto Alegre, Rs, 2008.
- Pinho-Lopes, M. E Lopes, M. L. 2010. "A Durabilidade Dos Geossintéticos". 1ª Ed. Porto: Feup Edições
- Pinto, C. S. (2006) Curso Básico De Mecânica Dos Solos. São Paulo: Oficina De Textos.
- Rankilor P.R., (1994). Technical Manual For The Design Of Utf Geosynthetics Into Civil And Marine Engineering Projects. Uco Technical Fabrics Nv. Lokeren, Belgium.
- Relatório De Sondagem Geológica, Geoquímica E Geotécnica. 2000. Laboratório De Oceanografia Geológica/Degeo – Furg. Termo Aditivo Ao Contrato Cps N° 007/99 Suprg/Furg.
- Remde, M. Z.; (2018). Caracterização Geotécnica Dos Solos Finos Do Leito Marinho Na Praia Do Cassino-RS. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica (PPGEO) da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG).
- Santos, L. R. R., Silva, L. C.A.F.M. (2019). Aplicações de geossintéticos na geotecnia ambiental: análise de publicações brasileiras nos últimos 20 anos (1999 a 2018). Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Universidade Federal Rural Do Semiárido – UFRSA, p17.
- Santos-Ferreira, A., Silva, A. P. & Dias, E. (2014). Harbour Geotechnics: the Case of the Portuguese Small Harbours. Application of Nanotechnology in Pavements, Geological Disasters, and Foundation Settlement Control Technology GSP 244. ASCE 2014.

- Satyamurthy, R; Bhatia, S.K. (2009) Effect of polymer conditionin on dewatering characteristics of fine sediment slurry using geotextiles. *Geosynthetics International*, v.16, n.2.
- Shepard, F. P. Nomenclature Based On Sand-Silt-Clay Ratios. *Journal Of Sedimentary Petrology*, V. 24, N. 3, P. 151-158, 1954.
- Shin, E. C. & Oh, Y. I. (2003). Analysis of geotextile tube behavior by large-scale field model tests. *Geosynthetics International*, 10, No. 4, 134–141.
- Shin, E. C.; Kang, J. K.; Kim, S.H.; And Park, J.J.; Construction Technology of Environmental Sustainable Shore and Harbor Structures Using Stacked Geotextile Tube. *KSCE Journal Of Civil Engineering* (2016) 20(6):2095-2102.
- Silva Lima, L.R., Dragagem, Transporte e Disposição final de Sedimentos De Leito De Rio, Dissertação de Mestrado em Engenharia, Escola Politécnica USP, São Paulo, SP, Brasil, 28 P, 2008.
- Silva, G. G. (2019)., Eficiência do desaguamento de resíduo de estação de tratamento de água em tubo geotêxtil, Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto, Minas Gerais, Brasil, 178p.
- 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.
- Simões, M. H. (2009). Sistematização dos aspectos ambientais de dragagens portuárias marítimas no Brasil, Dissertação de Mestrado em Engenharia. Universidade de São Paulo, p141.
- Smith, M. (2008) Geotextile Tubes in Environmental Applications. Australia: Global Synthetics Pty Ltd.
- Smith, M. "Geotextile Tubes in Environmental Applications". In: International Conference on Geosynthetics, 2017.
- Soares, C. R. L. Avaliação do processo de dragagem por injeção de água em estuários. Dissertação de MSc em Engenharia Oceânica, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- Souza, J.F. Comportamento Ambiental e Geotécnico da Disposição de Sedimento de Dragagem em Sistema Geotêxtil Fechado. Tese de Doutorado Em Ciências Em Engenharia Civil. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio De Janeiro, 2018.
- Tagliani, C.R.A. 1997. Proposta para o manejo da exploração de areia no município costeiro de Rio Grande – RS, dentro de um enfoque sistêmico. Tese de Mestrado – UNISINOS. São Leopoldo, 158 pp.
- Tencate. Geotube. Environmental dredging and remediation. TenCate Geotube case studies. Pendergrass, Georgia, EUA, 2013.
- Thapa, K.B.; Qi, Y.; Clayton, S.A.; Hoadley, A.F.A. Lignite aided dewatering of digested sewage sludge. *Water Research*, v. 43, p. 623-634, 2009.

- Theodoro, S. H. (Org.). *Mediação De Conflitos Socioambientais*. Rio De Janeiro: Garamond, 2005.
- Thompson, A., Oberhagemann, K., She, Y. (2020) Geobag stability for riverbank erosion protection structures: Physical model study. Elsevier, *Geotextiles And Geomembranes* V48, P 110-119, Fev 2020.
- Tomazelli, L. J., Villwock, J. A. *Mapeamento Geológico de Planícies Costeiras: o Exemplo da Costa do Rio Grande do Sul*. Gravel, v. 3, p. 109 – 115, 2005.
- Tominaga, E. (2010) *Análise dos procedimentos para avaliação de desempenho de sistemas fechados com geotêxtil para desaguamento*. Tese de mestrado em infraestrutura aeroportuária – ITA, 126 f.
- Torres, R. J. *Uma análise preliminar dos processos de dragagem do porto de Rio Grande, RS*. Dissertação de MSc em Engenharia Oceânica, FURG, RS, 2000.
- Usace - United States Army Corps Of Engineers. *Evaluating Environmental Effects of Dredged Material Management Alternatives: A Technical Framework*. EPA842-B-92-008. Washington D.C, USA, 2004.
- Vertematti, J. C. (Coord.). *Manual Brasileiro de Geossintéticos*. São Paulo: Ed. Edgar Blücher, 2004.
- Vertematti, J. C. *Manual Brasileiro de Geossintéticos*. 2a edição, CTG ABINT, 2015.
- Vidal, D. *Aplicações Especiais de Geossintéticos*. In: 40 SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOSSINTÉTICOS. Porto Alegre, 2003.
- Vidal, D.; Urashima, D. C. "Dimensionamento de Filtros e drenos em geossintéticos". In: *Geossintéticos 99*. Rio de Janeiro, RJ, 1999
- Villwock, J. A. (1978). Aspectos da sedimentação na região nordeste da Lagoa dos Patos: Lagoa do Casamento e Saco do Cocuruto, RS, Brasil. *Pesquisas* 11:193-223. Porto Alegre, RS
- Yee, T.W.; Lawson, C.R. "Modelling the geotextile tube dewatering process." *Geosynthetics International*, Vol. 19, No. 5, Thomas Telford Ltd, pp. 339-353, 2012.
- Zentar, R.; Abriak, N. E.; Dubois, V. Effects of salts and organic matter on Atterberg limits of dredged marine sediments. *Applied Clay Science*. Volume nº 42 p 391-397. 2009.