



## INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA AREIA DO DRENO DE FUNDO DO FOREBAY A JUSANTE DA EBV-II

Kleber José Pinheiro Lins, Universidade Federal de Pernambuco, kleberlins@gmail.com

### Resumo

A construção de grandes maciços de terra, onde as estações elevatórias estão assentadas, possuem uma estrutura a montante e outra a jusante, com o intuito de evitar perdas de água, sendo estas projetadas com duas câmaras de carga, chamadas de forebays. O Forebay a jusante é uma estrutura civil de grande porte, assentada sobre um maciço de conglomerado compactado. Este estudo teve o objetivo de realizar uma investigação geotécnica da areia do dreno de fundo do forebay a jusante da EBV-II. Trata-se de um estudo de campo, onde foi coletado e analisado amostras de granulometria, limites de consistência, compactação, permeabilidade e cisalhamento direto, realizados em uma amostra de solo deformada. Os resultados laboratoriais demonstraram que a areia artificial depositada no envelopamento do dreno de fundo do Forebay a Jusante da EBV-II, apresentam valores de granulometria de 17% de areia grossa e 50% de areia média, silte e argila. O IP de 5% no limite de consistência, no peneiramento de solo miúdo foi caracterizada entre ligeiramente plástico e plasticidade baixa. O ensaio de permeabilidade a carga constante apresentou um resultado satisfatório com um valor de  $1,5 \times 10^{-3}$ . Já o teor de matéria orgânica identificou um valor de 1,16% do material coletado.

**Palavras-chave:** areia artificial, granulometria, recursos hídricos.

### 1. Introdução

O Forebay a Jusante é uma estrutura civil de grande porte, assentada sobre um maciço de conglomerado compactado. Pode ser entendido como sendo um reservatório de concreto, como um espaço mais largo do canal para diminuir a pressão da água sendo esse sistema sempre utilizado nas saídas das Estações de Bombeamento (EB) (VANDERLEI, 2017).

O dispositivo para interceptar de maneira controlada o fluxo da drenagem interna e fundação do Forebay é conhecido como filtro, que em sua seção longitudinal se faz necessário abaixo das placas de concreto, conduzindo a água até o medidor de vazão. No interior da vala escavada, utiliza-se um colchão de areia envolto a uma manta de geotêxtil (Bidim).

Uma drenagem interna do Forebay deve ser constituída de camadas de materiais com elevada permeabilidade. Utiliza-se areia natural, por sua permeabilidade ser entre  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$ . A areia natural é um material granular, sem forma e volume definidos, devendo ser extraída do leito de rios (MARANGON, 2004; HOLSBACH, 2004).

Já a areia artificial deriva-se da rocha basáltica que passa por um processo de britagem, a qual é peneirada até atingir a granulometria desejada, ou seja, que o agregado possa ser

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

trabalhado até atingir uma granulometria menor que 4,8 mm (granulometria padrão da areia natural, conforme ABNT, 2009 – NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação (GONÇALVES, 2005).

Dessa forma entendendo os conceitos referenciados acima, este estudo tem como objetivo realizar uma investigação geotécnica da areia do dreno de fundo do forebay a jusante da EBV-II. Espera-se que este estudo possa contribuir de forma positiva para acadêmicos e profissionais da engenharia, para que possam desenvolver novas possibilidades dentro de suas atividades ocupacionais.

## 2. Fundamentação teórica

A substituição da areia natural pela areia artificial (pó de pedra) deve ser uma alternativa para alguns impactos ambientais. Em países desenvolvidos, a substituição se originou na década de setenta, logo após a fabricação dos primeiros equipamentos usados para britagem do material fino. Com isso, foi viabilizado industrialmente o conceito de se produzir pó de pedra em grande escala (ALMEIDA; SAMPAIO, 2002).

Estudos demonstram que o pó de pedra apresenta uma porcentagem de material pulverulento variando entre 7% e 20%, dependendo da litologia, no qual pode ser utilizado pois colabora na melhoria da aglomeração das partículas maiores do concreto (REPORTAGEM CIÊNCIA HOJE, 2000).

A utilização do pó de pedra como agregado miúdo no concreto pode ter seus motivos econômicos e duráveis, pois, vem sendo estudado e tem gerado grande interesse pelos aspectos ambientais, uma vez que as pedreiras comercializarão o rejeito com valor acessível.

O pó de pedra é considerado refugo das pedreiras, oriundo da britagem de rochas para produção de agregado. Classificado no peneiramento, é todo aquele material que passa na peneira 4,8 mm. Atribui-se esse material como pó de pedra e após o peneiramento, chamado habitualmente de areia artificial (GONÇALVES, 2005).

O emprego da areia artificial em filtros de obra de terra sem o conhecimento da sua composição mineralógica e sem análises laboratoriais não é consistente e pode significar risco incalculável. A escolha do estudo da areia artificial em filtro de barragem ou canais para drenos se deve pela maior facilidade de encontrar o material britado (TERZAGUI, 1964).

A areia para camada de filtro deve ser constituída por minerais duros, resistente a abrasão e livre de material contaminante e impurezas. Poderão ser usadas areias com formato arredondado ou angular, mas nunca devem ser lamelares (BOWLES, 1978).

A Areia é um material natural (NBR 7225/2009), de propriedades adequadas, de granulometria inferior a 2,0 mm e superior a 0,075 mm. Podendo ser classificada em:

- Areia grossa: granulometria de 2 a 1,2 mm;
- Areia média: granulometria de 1,2 a 0,42 mm;
- Areia fina: granulometria de 0,42 a 0,075 mm.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

As principais propriedades de um agregado para ser usado como filtro, de forma a garantir permeabilidade, estabilidade e durabilidade são os tamanhos das partículas, classificação e granulométrica.

### 3. Metodologia

O presente estudo foi realizado em campo, entre os meses de fevereiro e março de 2023, localizado em Petrolândia – PE. A área de estudo foi o Forebay a Jusante da EBVII no qual foi coletada amostras do material filtrante para ensaios como, granulometria, limites de consistência, compactação, permeabilidade e cisalhamento direto, realizados em uma (1) amostra de solo deformada, tipo saco, coletada e encaminhada ao laboratório.

A areia artificial basáltica (pó de pedra) foi utilizada no envoltório dos filtros drenantes do fundo do Forebay da EBV-II como solução alternativa à areia natural, visto que não se obteve jazida próximo ao local.

Inicialmente foi realizada a remoção da placa de concreto e retirada a manta PEAD (Figura 1), em seguida foram coletadas amostras da areia artificial, de profundidade de 20 cm de solo e armazenadas em sacos plásticos lacrados e previamente numerados.

**Figura 1:** camada exposta do material filtrante



Fonte: Autor, 2023

Os ensaios de classificação do solo foram realizados em conformidade com as Normas Brasileiras pertinentes, a seguir descritas: -NBR 6459 (ABNT, 1984)-Determinação do limite de liquidez; -NBR 7180 (ABNT, 1984)-Determinação do limite de plasticidade; -NBR 7181 (ABNT, 1984)-Análise granulométrica de solos. As análises granulométricas foram realizadas segundo as normas NBR 6457 (ABNT, 1986), NBR 7181 (ABNT, 1984) e NBR 7217 (ABNT,

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

1987), e através do método do Densímetro (BOUYOUCOS, 1927, modificado).

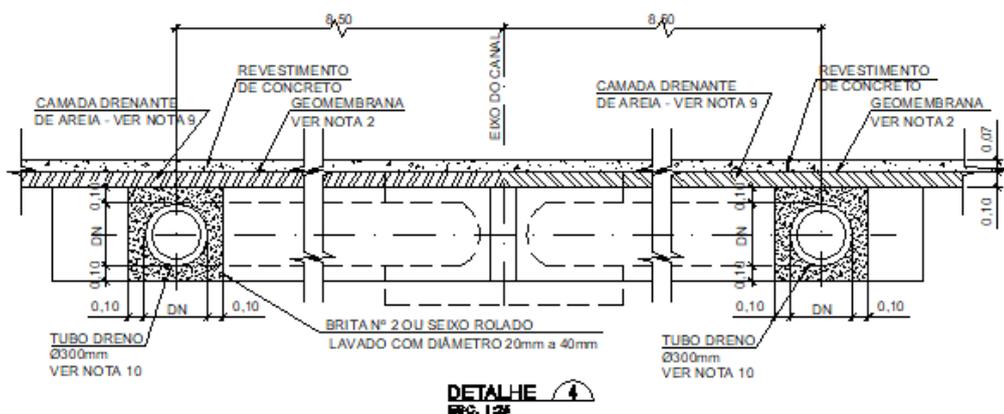
Para o ensaio de cisalhamento direto, nas moldagens dos corpos de prova com seção quadrada de 2" (5,08cm) de lado e 4,0 cm de altura, foram moldados nas condições de peso específico aparente úmido, igual a 18,0 kN/m<sup>3</sup> e umidade natural. Na ruptura, o cisalhamento dos corpos de prova na umidade natural, foi realizado em prensa com velocidade de deformação constante de 0,48 mm/min. Foram aplicadas nos diversos corpos de prova pressões confinantes iguais a 100, 200 e 300 kPa, conforme solicitado pelo interessado.

A força horizontal aplicada e a deformação dos corpos de prova foram medidas através de anel dinamométrico com capacidade de 500 kgf e extensômetro mecânico com sensibilidade de 0,01 mm, respectivamente.

#### 4. Resultados

O detalhamento da camada drenante (Figura 2), apresenta a forma que o dreno de fundo e o material utilizado está contemplado no projeto executivo. Porém, não foi investigado a permeabilidade da areia artificial basáltica, levando em consideração apenas sua granulometria. Desta forma, sem prévio conhecimento das demais características geotécnicas / geológicas, descaracterizam a areia artificial basáltica como material drenante.

Figura 2 - detalhamento da camada drenante



Fonte: Autor, 2023

Uma suposta colmatção interna, pode ter ocorrido com o bloqueio ou estreitamento dos poros, devido a quantidade de finos e material pulverulento, interferindo no processo de escoamento filtrante. A amostra, após ser coletada, foi enviada ao laboratório para os ensaios de permeabilidade, granulometria, densidade real, sedimentação, limites de Atterberg (LL e LP), peso específico e teor de matéria orgânica.



O valor do índice de plasticidade (IP), em areias limpas deve ser nula, sendo classificado como não plástico (IP=NP). Caso o solo granular apresente uma quantidade significativa de finos, estas deverão ter os valores mínimos pois afetam o comportamento do material.

Os resultados dos ensaios de granulometria e limites de consistência estão apresentados na tabela 1, no qual foi encontrado um valor do IP de 5%. Deste modo, a amostra se delimita entre ligeiramente plástico e plasticidade baixa, como exposto na figura 3, não sendo recomendado para uma camada filtrante, pois, areias não devem ser plásticas tendo o IP ideal na faixa de 0.

**Tabela 1** - Resultados dos ensaios de granulometria e limites de consistência.

Amostra (n°)	Pedregulho (%)	Areia grossa (%)	Areia média (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1	5	17	28	26	14	10	21	16	5

LL = Limite de liquidez

LP = Limite de plasticidade

IP = Índice de plasticidade

Fonte: Autor, 2023

**Figura 3** - Classificação dos solos em relação aos valores de IP

IP	DESCRIÇÃO
0	Não Plástico
01 - 05	Ligeiramente plástico
05 - 10	Plasticidade baixa
10 - 20	Plasticidade média
20 - 40	Plasticidade alta
> 40	Plasticidade muito alta

Fonte: Das (2007)

Diante das informações do ensaio de granulometria, pode-se observar uma porcentagem de apenas 17% de areia grossa, 5% de pedregulho e entre areia fina, silte e argila de 50%, sendo uma quantidade significativa de finos para poder ser aplicado como filtros drenantes (Gráfico 1). Enfatiza-se que material drenante deve possuir uma quantidade maior de areias grossas para permitir o escoamento de água.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

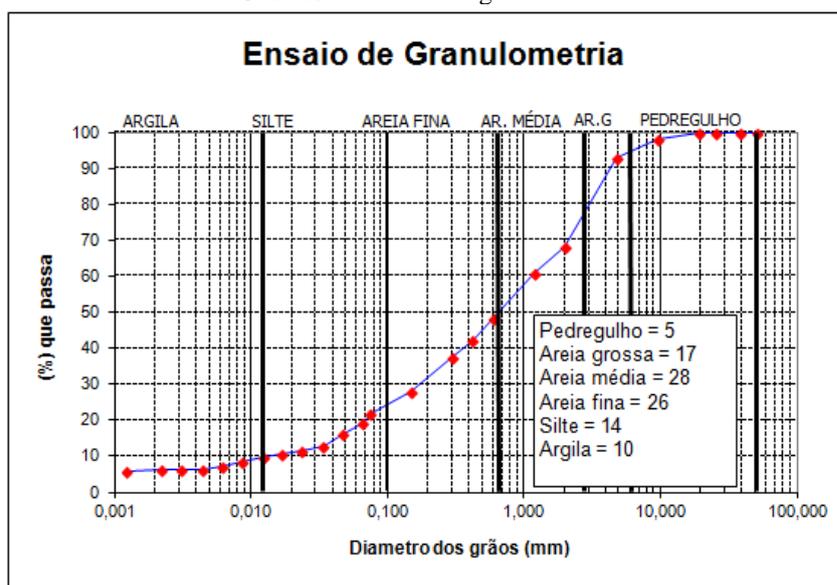
# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

Gráfico 1 - Ensaio de granulometria



Fonte: Autor, 2023

No ensaio de peneiramento do solo miúdo, foi obtido o resultado na peneira 200 (0,075mm), o valor de 21,71%. O material drenante, que consiste em não permitir que os grãos do solo sejam transportados junto com a água percolante. Um filtro deve ter um arranjo de vazios tais que os grãos do material a ser protegido não consigam ser transportados através dele. CRUZ, (2004).

Tabela 2 - peneiramento do solo miúdo

PENEIRA		PESO	PESO	% QUE PASSA
POLEGADA	mm	RETIDO	QUE PASSA	DA AMOSTRA
				TOTAL
No. 16	1.190	7,40	61,83	61,00
No. 30	0.590	13,07	48,76	48,11
No. 40	0.420	6,14	42,62	42,05
No. 50	0.297	4,59	38,03	37,52
No. 100	0.149	9,82	28,21	27,83
No. 200	0.075	6,20	22,01	21,71

Fonte: Autor, 2023

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

Para os resultados dos ensaios de densidade aparente mínima seca, permeabilidade a carga constante e teor de matéria orgânica, estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - ensaio de densidade aparente mínima seca, permeabilidade a carga constante e teor de matéria orgânica

Amostra	Densidade aparente mínima seca	Permeabilidade a carga constante	Teor de matéria orgânica
Nº	(kN/m <sup>3</sup> )	(cm/s)	(%)
1	14,60	1,503 x 10 <sup>-3</sup>	1,16

Fonte: Autor, 2023

Os resultados de densidade aparente mínima seca apresentou um valor de 14,6 kN/m<sup>3</sup> ou 1488 kg/m<sup>3</sup> se delimitando em “areia fina seca” de acordo com a tabela 4. As areias para filtros devem ser grossas para melhor escoamento da água (CAPUTO, 1983).

Tabela 4: Densidade dos Materiais

MATERIAL	kg/m <sup>3</sup>
AREIA SECA	1300 a 1600
AREIA ÚMIDA	1700 a 2300
AREIA FINA SECA	1500
AREIA GROSSA SECA	1800

Fonte: operations, densidade de materiais, 2023.

Para o ensaio de Permeabilidade, o resultado foi de 1,5x10<sup>-3</sup>, caracterizando-se como permeável, de acordo com a tabela 5, sendo um tipo de solos definido como “areias”.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

**Tabela 5:** tipos de solos e sua permeabilidade

Permeabilidade		Tipo de solo	k (cm/s)
Solos permeáveis	Alta	Pedregulhos	$> 10^{-3}$
	Alta	Areias	$10^{-3}$ a $10^{-5}$
	Baixa	Siltes e argilas	$10^{-5}$ a $10^{-7}$
Solos impermeáveis	Muito baixa	Argila	$10^{-7}$ a $10^{-9}$
	Baixíssima	Argila	$< 10^{-9}$

Fonte: NBR-13292/1995

De acordo com a tabela 6, de propriedades dos solos, o material coletado se caracteriza como sendo um GC, onde a permeabilidade quando compactado se define como “impermeável” e a característica de drenagem como “má”.

**Tabela 6 -** propriedade dos solos

TABELA DE INFORMAÇÕES SOBRE PROPRIEDADES DOS SOLOS										
DIVISÕES PRINCIPAIS	Sub-grupo	Simbolo	Trabalhabilidade como material de construção	Permeabilidade quando compactado	Resistência Compactada e Saturada	Compressibilidade compactada e saturada	$\gamma_d$ máx. para $\omega_{ótimo}$ PN (g/cm <sup>3</sup> )	Valor como fundação	Características de drenagem	
SOLOS GRANULARES	Pedregulhos e Solos pedregulhosos	Pedregulho; misturas areias; pedregulhos bem graduada; pouco ou nenhum fino	<b>GW</b>	Excelente	Permeável	Excelente	Desprezível	De 2,00 a 2,20	Boa a Excelente	Excelente
		Pedregulho; misturas areias; pedregulhos mal graduada; pouco ou nenhum fino	<b>GP</b>	Boa	Muito Permeável	Boa	Desprezível	De 1,80 a 2,00		Excelente
		Pedregulhos Siltosos; misturas pedregulhos - areia - silte	<b>GM</b>	Boa	Semipermeável a impermeável	Boa	Desprezível	De 1,92 a 2,20		Regular a Má
		Pedregulhos Argilosos; mistura pedregulhos - areias - argilas	<b>GC</b>	Boa	Impermeável	Regular a Boa	Muito pequena	De 1,84 a 2,10		Má
	Areias e Solos Arenosos	Areias, ou areias pedregulhosas bem graduadas; pouco ou nenhum fino	<b>SW</b>	Excelente	Permeável	Excelente	Desprezível	De 1,78 a 2,10	Má a Boa dependendo do peso específico	Excelente
		Areias, ou areias pedregulhosas mal graduadas; pouco ou nenhum fino	<b>SP</b>	Regular	Permeável	Boa	Muito pequena	De 1,60 a 1,92		Excelente
		Areias siltosas; misturas areias - siltes	<b>SM</b>	Regular	Semipermeável a impermeável	Boa	Pequena	De 1,76 a 2,00		Regular a Má
		Areias argilosas; misturas areias - argilas	<b>SC</b>	Boa	Impermeável	Regular a Boa	Pequena	De 1,68 a 2,00		Má a Boa

Fonte: DE ALMEIDA, 2005

O teor de matéria orgânica foi de apenas 1,16% do material coletado, sendo considerado desprezível, por apresentar um pequeno volume de matéria orgânica.



## 5. Conclusões

Diante do exposto, a areia artificial depositada no envelopamento do dreno de fundo do Forebay a Jusante da EBV-II, em que os resultados laboratoriais apresentam valores de granulometria, representando uma porcentagem de 17% de areia grossa e 50% de areia média, silte e argila. O IP de 5% no limite de consistência, no peneiramento de solo miúdo apresentou um resultado de 21,71% da amostra passante na peneira 200, sendo caracterizada entre ligeiramente plástico e plasticidade baixa, referindo-se como ideal ser não plástico (IP=NP). Para a densidade aparente mínima o resultado foi de 1488 KG/M<sup>3</sup> indicando ser areia fina seca. O ensaio de permeabilidade a carga constante apresentou um resultado satisfatório com um valor de 1,5x10<sup>-3</sup>. Já o teor de matéria orgânica identificou um valor de 1,16% do material coletado.

Salienta-se preconizar que foi evidenciado que por o ensaio de permeabilidade ter apresentado um valor de 10<sup>-3</sup> (material permeável), os demais resultados descritos, comprovaram existir uma colmatação pelo material ser lamelar, pulverulento e uma grande quantidade de finos.

## 6. Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13292: Solo: **Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante**. Rio de Janeiro, 1995.

BOWLES, J. E. **Engineering properties of soil and their measurement** – Mc Graw – Hill. 1978.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 5ª edição. Vol. 2. 1983. Rio de Janeiro: LCT – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.1983.

CRUZ, P. T. **100 Barragens Brasileiras, Casos Históricos, Materiais de Construção, Projeto**. São Paulo: Editora Oficina De Textos Brasil, 1996, 2ª Edição. 2004.

DE ALMEIDA, G.C.P. **Caracterização física e classificação dos solos**. Universidade Federal de Juiz de Fora, p. 145, 2005.

HOLSBACH, T.S. **Avaliação da substituição da areia natural por areia artificial em argamassa de cimento cal e areia para assentamento**. Trabalho de Conclusão de Curso. Ijuí:

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Curso de Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia, 2004.

KUCK, D.W. Areia artificial reduz impacto ambiental de construção civil. **Ciência Hoje**. 31 de jan. de 2003. Disponível em: < <https://cienciahoje.org.br/areia-artificial-reduz-impacto-ambiental-de-construcao-civil/#:~:text=Na%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20concreto%20armado,7100%20est%C3%A1dios%20como%20o%20Maracan%C3%A3>>. Acesso em: 21 de outubro de 2023.

TERZAGHI, K. Fifty YEARS OF Subsoil. In: **Relatório Rodio S.A.** Rio de Janeiro, 1964.

VANDERLEI, A.B.G. **Aspectos operacionais da transposição do Rio São Francisco**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil e ambiental, curso de graduação em engenharia civil. Universidade Federal da Paraíba – UFPB. 2017.

Densidade de Materiais. Operation, Belo Horizonte – MG. 2023. Disponível em: <<https://operation.com.br/densidade-dos-materiais/>>. Acesso em: 20 de outubro de 2023.