

**José Messias Ribeiro Júnior
Eduardo Antonio Maia Lins
Jeane Êmili de Medeiros
Daniele de Castro Pessoa de Melo**

**Análise do Comportamento
de um Solo na Presença do Esgoto
Doméstico - Estudo de Caso**

José Messias Ribeiro Júnior
Eduardo Antonio Maia Lins
Jeane Émili de Medeiros
Daniele de Castro Pessoa de Melo

Análise do Comportamento de um Solo na Presença do Esgoto Doméstico - Estudo de Caso

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A532 Análise do comportamento de um solo na presença do esgoto doméstico [recurso eletrônico] : estudo de caso / José Messias Ribeiro Júnior... [et al.]. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-7247-550-1
DOI 10.22533/at.ed.501102008

1. Ciência do solo. 2. Esgoto. 3. Solos. I. Ribeiro Júnior, José Messias. II. Lins, Eduardo Antonio Maia. III. Medeiros, Jeane Êmili de. IV. Melo, Daniele de Castro Pessoa de.

CDD 628.36

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

Atena
Editora

Ano 2019

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	1
RESUMO.....	2
ABSTRACT	3
INTRODUÇÃO GERAL.....	4
INTRODUÇÃO	5
MATERIAIS E MÉTODOS	7
CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS.....	38
ANEXOS	41
SOBRE OS AUTORES	63

AGRADECIMENTOS

A Deus, e a todas as Forças Positivas do Universo que nos cercam em nossa vida. AMÉM.

A meus pais José Messias Ribeiro e Divanilda Silva Ribeiro, as minhas irmãs, Patrícia e Dulceana, a minha companheira Glaubia de Oliveira. A todos do seio familiarminha gratidão.

A meu orientador Prof. Dr. Eduardo Antônio Maia Lins que ao longo do Mestrado orientou, incentivou e contribuiu com seu conhecimento para a pesquisa apresentada. Hoje se pode dizer que transcendeu a relação entre orientando/orientador, seguimos amigos.

A coordenadora do Curso do Mestrado em Tecnologia Ambiental, a Prof.^a. Dr^a Daniele de Castro Pessoa de Melo que sempre apoiou e se dispôs a atender com as dúvidas e tratativas com os ensaios químicos realizados no Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP).

A Professora Dr^a. Jeane Emili de Medeiros, do Instituto Federal de Pernambuco, que aceitou participar da banca examinadora e contribuir com seu conhecimento e experiência.

Ao IFPE, através do Diretor do Campus Recife, Sr. Marivaldo Rosas, o qual proporcionou o Edital de financiamento de Bolsas para qualificação profissional dos Servidores, minha gratidão.

Ao departamento de Obras e Projetos de Engenharia (DOPE-IFPE), através da Diretora, Virgínia Gouveia, e aos demais colegas.

Ao Laboratório de Geotecnia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) através dos amigos, Antônio Brito, Sávio e Gutemberg.

Aos professores e servidores do ITEP, sempre solícitos, amáveis e disponíveis para interagir, trocar ideias e nos passarem seus valiosos conhecimentos.

Aos meus amigos de turma, o Sérgio Gonzaga, Ernani (arquiteto), Luis (Baiano), Domingos, Elaine, Ceci, Anne, Flávia, Maria Ângela, Alípio, Ricardo, Claudison, Jaime, Gustavo Luis, Manu, Antônio, Carlos Souza e ao Marcílio, sempre bem humorados e prestativos. Desejo a todos vocês o sucesso, pois sei a árdua jornada até este momento. Um forte abraço de coração ao representante da Turma, Sérgio Gonzaga.

Agradecer também a aluna do Curso técnico em Saneamento do IFPE e arquiteta, Sheila Rodrigues de Albuquerque, que contribuiu com a doação na parte da diagramação da capa do E-book.

E a todos que direta ou indiretamente me ajudaram a vencer esta importante etapa.

A fonte de contaminação oriunda do esgoto domésticos para o solo e conseqüentemente para as águas subterrâneas é uma realidade atual. No Brasil, o sistema de tratamento primário do esgoto através de tanque sépticos com filtro anaeróbio e vala de infiltração atende uma grande parcela da população brasileira. Os Elementos químicos (inorgânicos) como o Nitrato (NO_3) e o Nitrito (NO_2) presentes no esgoto domésticos são umas das grandes fontes contaminantes para o meio ambiente através da infiltração no solo. Baseado na Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) se faz necessário atender aos parâmetros da normativa para destinar as águas ao meio ambiente. Os estudos geotécnicos na área da vala de infiltração caracterizou o solo como areia-argila (SUCS) e com uma Permeabilidade na ordem de 10^{-6} cm/s, ou seja, conforme literatura considerado impermeável. Os ensaios a partir da amostra piloto físico-química do esgoto dectaram que as concentrações de Nitrato e Nitrito estão acima da normativa do Conama. Com as sondagem a percussão obteve-se o nível hidrostático do lençol freático com variação entre -3,00 metros a -5 metros, tanto na estação chuvosa e na estação seca. A partir das informações coletadas *in loco* e em laboratório, calculou-se a velocidade média linear pelo transporte de advecção do contaminante e apurou-se que o maior alcance da pluma contamine é de 53,43 cm em 10 anos, ou seja, uma baixa velocidade de percolação do contaminante para o solo. Como também, para o tratamento das concentrações de Nitrato/ Nitrito estas são atenuadas pelo processo de desnitrificação e também pelo próprio consumo dos vegetais pelo seu sistema radicular que consome o Nitrato do Meio. Outra sugestão proposta no artigo é o pós-tratamento com barreiras reativas de carvão ativado a fim de diminuir as concentrações de amônia (NH_3) a qual no meio porosos transforma-se em Nitrato, e conseqüentemente trazendo ainda mais benefícios ao meio ambiente. A fim de realizar a estimativa de risco ambiental utilizou-se a metodologia PEIR. O estudo demonstra que existe um risco ambiental mas a tipologia do Solo, o nível hidrostático, a permeabilidade do solo, e a velocidade da pluma contaminante faz com que o impacto ambiental seja mitigado.

PALAVRAS-CHAVE: Nitratos/Nitritos. Permeabilidade.meio ambiente e PEIR.

The source of contamination from domestic sewage to the ground and consequently to groundwater is a current reality. In Brazil, the unitary treatment system of the sewage through septic tank with anaerobic filter and infiltration ditch serves a large part of the Brazilian population. Chemical (inorganic) elements such as Nitrate (NO₃) and Nitrite (NO₂) present in domestic sewage are one of the major sources contaminated to the environment by infiltration into the soil. Based on Resolution No. 357 of March 17, 2005 of the National Environmental Council (CONAMA), it is necessary to comply with the parameters of the regulations to allocate water to the environment. The geotechnical studies in the area of the infiltration trench characterized the soil as sand-clay (SUCS) and with a Permeability in the order of 10⁻⁶ cm / s, ie, according to literature considered impermeable. The tests from the physical-chemical pilot sample of the sewer found that the concentrations of Nitrate and Nitrite are above Conama's standard. With the percussion drilling, the hydrostatic level of the water table was obtained, ranging from -3.00 meters to -5 meters, both in the rainy season and in the dry season. From the information collected locally and in the laboratory, the average linear velocity was calculated by the transport of advection of the contaminant and it was determined that the greatest range of the contaminated plume is 53.43 cm in 10 years, that is, a low percolation rate to the soil. Also, for the treatment of Nitrate / Nitrite concentrations these are attenuated by the denitrification process and also by the own consumption of the plants by their root system that consumes the Nitrate of the Medium. Another suggestion proposed in the article is the post-treatment with activated carbon reactive barriers in order to reduce the concentrations of ammonia (NH₃) which in the porous medium becomes Nitrate, and consequently bringing even more benefits to the environment. In order to carry out the environmental risk estimation, the PEIR methodology was used. The study demonstrates that there is an environmental risk but the soil typology, hydrostatic level, soil permeability, and the speed of the contaminating plume causes the environmental impact to be mitigated.

KEYWORDS: Nitrates / Nitrites; permeability. environment and PEIR

INTRODUÇÃO GERAL

As edificações que não dispõem de rede pública coletora de esgotos necessitam adotar medidas para o tratamento e disposição dos efluentes. Os sistemas compostos por tanques sépticos interligados em valas de infiltração ou sumidouros representam uma solução possível para o problema, desde que o nível do lençol freático esteja numa profundidade onde não haja risco de contaminação (MARQUES;VICTOR,2010).

O líquido que percola das fossas para o solo contém nitrogênio (convertido em nitrato, no solo). Como consequência, a água subterrânea sob as, ou perto das, fossas pode se tornar poluída, o que causa problemas quando a qualidade da água de abastecimento, retirada de poços é afetada (SPERLIN, 2014).

O nitrato é formado por uma reação sequencial catalisada por microrganismos, através da oxidação da amônia em nitrito e, do nitrito em nitrato. Concentrações de nitrato superiores a 10 mg N-NO₃-/L, de acordo com a organização Mundial da Saúde (OMS) e o Ministério da Saúde podem causar a metemoglobinemia, podendo trazer graves consequências para a saúde ,inclusive morte, principalmente em lactentes.

Uma importante diretriz para análise dos parâmetros da qualidade da água é a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que estabelece os parâmetros dos Contaminantes inorgânicos como o Nitrato e o Nitrito que é abordado nesta pesquisa. Ressalta-se que Resolução nº 430 do CONAMA não abrange os contaminantes específicos citados, bem como a resolução nº 420 propõe a análise físico-química de parâmetros de águas subterrâneas.

O solo atua como um filtro para os contaminantes. Mas quando sua capacidade amortecedora é superada, os contaminantes podem chegar ao meio ambiente e consequentemente causando danos a sociedade, sendo por isso, objeto de diversos estudos, segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2018).

O presente trabalho em forma de artigo justifica-se pela o grande número de unidades habitacionais cerca de 22.266.728, segundo Relatório de 2015 da Associação brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES,2015) que utilizam o sistema de tratamento primário através de Tanque sépticos com disposição final para o solo, ou seja, o monitoramento e estudo dos contaminantes (Nitratos – NO₃ e Nitritos – NO₂) é imprescindível para análise e atenuação da carga contaminante ao meio.

A contaminação dos solos e lençol freático por esgoto sanitário em função do tratamento escolhido é uma problemática que requer atenção. O esgoto doméstico é, muitas vezes, tratado em tanque séptico (TS) com Filtro anaeróbico (FA) e vala de infiltração (VI), as quais devem atender as especificações da NBR 7229 (1993). A eficiência do sistema (TS+FA+VI), normalmente situa-se entre 40 e 70% na remoção da demanda bioquímica (DBO) ou química (DQO) de oxigênio e 50 a 80% na remoção dos sólidos suspensos (HARTMANN et al., 2009).

No caso do uso de fossas com infiltração dos efluentes no solo, há sempre o risco de contaminação dos aquíferos sob o terreno, qualquer que seja o nível de tratamento e a qualidade da obra ou da operação. O processo anaeróbio não remove o nitrogênio do esgoto e não há diferença significativa quanto à remoção do nitrogênio entre uma fossa rudimentar ou um tanque séptico (SPERLING, 2014).

Água com concentrações a partir de 10 mg L^{-1} de nitrato (NO_3^-) são consideradas tóxicas, pois o NO_3^- pode ser reduzido a nitrito (NO_2^-) no intestino humano e causar metemoglobinemia em crianças pequenas” Haering (2000 apud PAULA et al, 2011).

O lençol freático ou aquífero pode sofrer recarga artificialmente através do estabelecimento de lagoas de infiltração e galerias, bem como pela injeção de água através de poços GLASSER (2007, apud BETIM, 2013). Além dos fatores citados, influenciam o volume de água recarregado a condutividade hidráulica vertical e a transmissividade do aquífero Poehls & Smith (2009, apud BETIM, 2013).

A contaminação do solo e a perda da qualidade da água dos lençóis freáticos resultantes do desenvolvimento das atividades antrópicas constituem graves impactos ambientais, podendo afetar a qualidade de vida de todos, sendo por isso, objeto de diversos estudos, segundo o Programa das nações unidas - PNUD (2006).

As edificações, a exemplo, o Centro de Pesquisa, constituídas com tratamento através de Tanque séptico, filtro anaeróbio com destino final a uma vala de infiltração tem como sua concepção atender a vazões pequenas e médias. Os custos e a simplicidade construtiva e operacional são incomparáveis a outros sistemas de tratamento. Em áreas que não são atendidas pela rede da companhia responsável pela coleta, esta solução se torna viável desde de que se conheça e analise seus contaminates ao meio poroso. Dessa maneira, e visando atender a requisitos da Resolução nº 420 que versa sobre a contaminação de águas subterrâneas , o presente trabalho acompanhou e analisou o lixiviado de efluentes e seu comportamento no solo na área da vala de infiltração do Centro de pesquisa.

1.1 Objetivo Geral

Identificar e estimar o comportamento do transporte de contaminantes do esgoto sanitário, especificamente os Nitratos (NO_3) e Nitritos (NO_2), para o meio poroso, utilizando a matriz de PEIR.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar os ensaios de sondagens a percussão e a trado tipo cravadeira para coleta de amostras de solo para análises físicas de caracterização, determinando o Nível d'água estático;
- Determinar o coeficiente de Permeabilidade (K) *in situ* do solo com água e com o percolante (esgoto tratado);
- Quantificar a Concentração de Nitrato / Nitrito (NO_3^- , NO_2^-) do esgoto através de ensaios químicos;
- Calcular a velocidade média ao longo do Tempo do fluxo do contaminante no meio poroso, identificando a profundidade de alcance da pluma.
- Aplicar a matriz PEIR

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O estudo se fez na área da Edificação do Centro de Pesquisa (Figura 1), localizado na Av. Prof. Luiz Freire, 500, Cidade Universitária, Recife – PE. Edificação iniciada sua construção em janeiro de 2017 e conluída em Março de 2018.

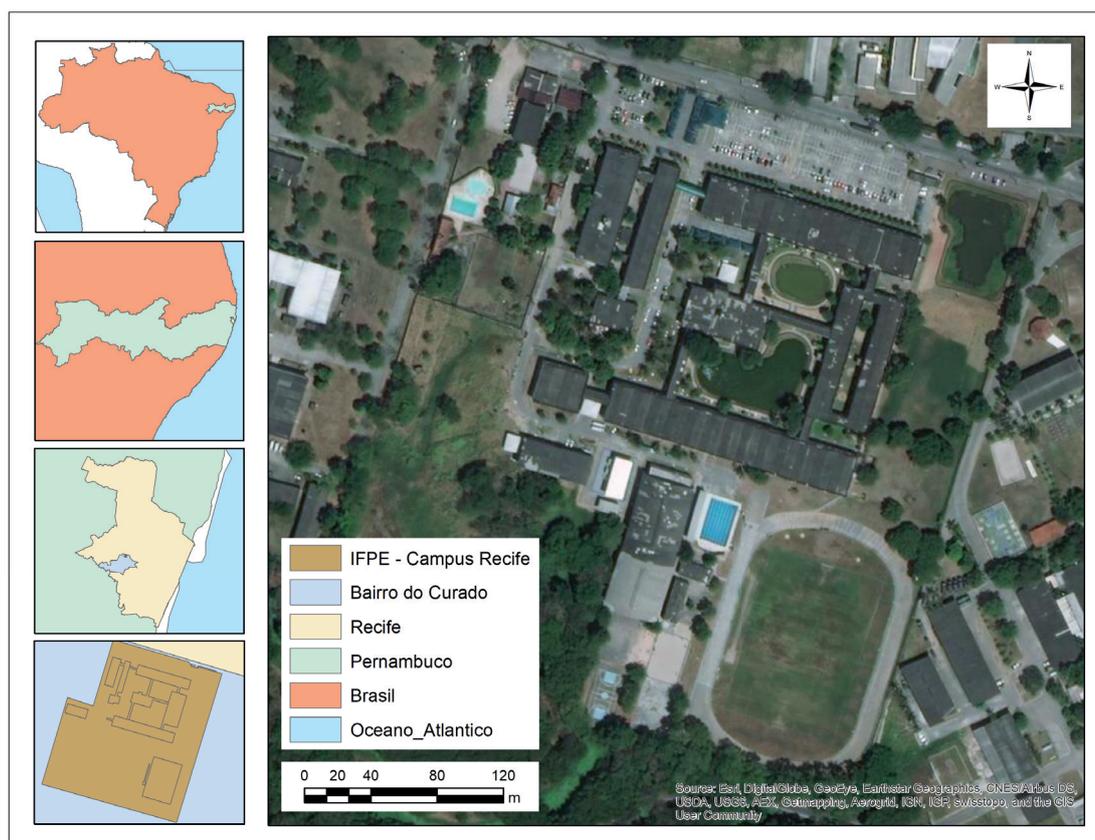


Figura 01 - Mapa de Localização do Centro de Pesquisa

Fonte: Google Earth (2018)

A edificação (Figura 2) é composta de 2 pavimentos sendo um térreo e outro um 1º andar, com uma área construída de 1553 m², composta de 10 laboratórios multidisciplinares, 17 salas de pesquisadores, copa, almoxarifado, 4 (quatro) banheiros coletivos, 2 (dois) individuais e Recepção.



Figura 02 - Edificação do Centro de Pesquisa Concluída
Fonte: Acervo do Autor (2018)

O Sistema de tratamento do esgoto adotado (Figura 3) foi composto por tanque séptico, filtro anaeróbico e vala de infiltração com vazão de esgoto estimada de 10.000 litros por dia, conforme dados do projeto hidrossanitário.

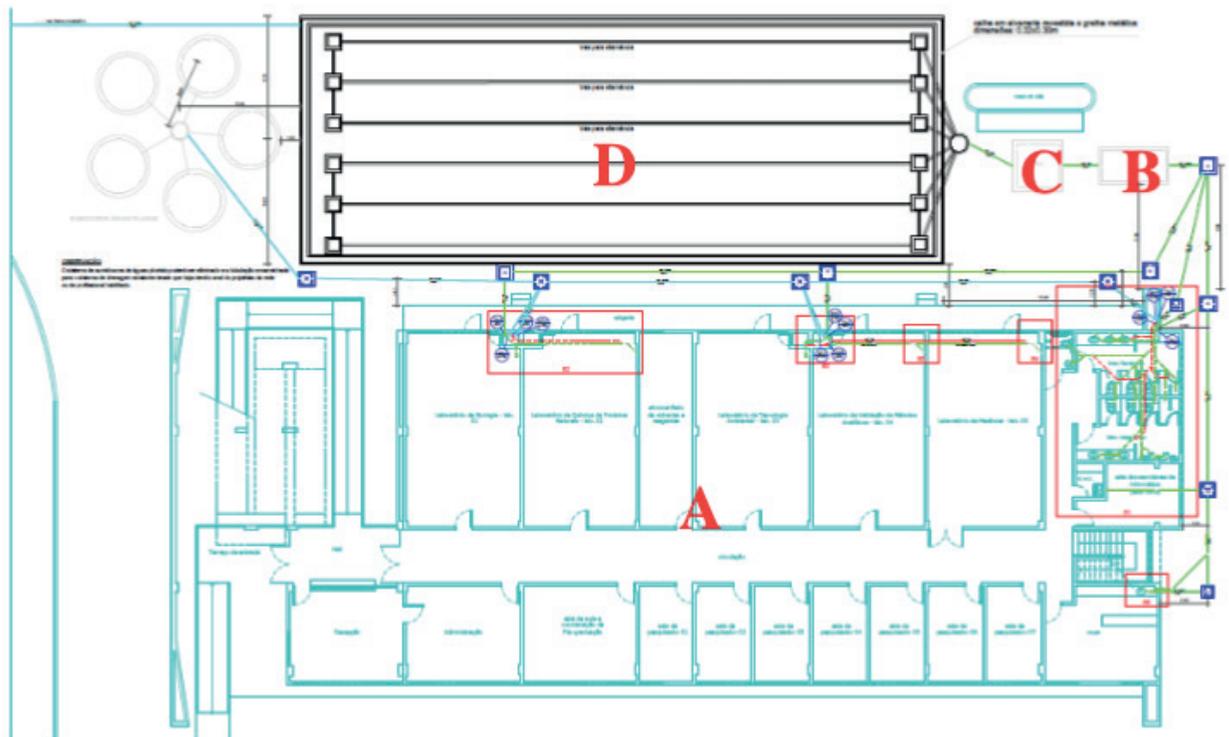


Figura 03 - Planta baixa da edificação e do Sistema de Tratamento de Esgoto.

(A) – Edificação, (B) – Tanque Séptico, (C) – Filtro Anaeróbio e (D) – Vala de Infiltração.

Fonte: Departamento de Obras e Projetos de engenharia do IFPE (2017)

O nível do Lençol freático apresentou variação devido a influência do Clima As' da classificação de Kopper (tropical úmido) , com chuvas concentradas (Tabela 1) no período de abril a Julho tendo um nível hidrostático de 2,85 metros e no período de

estação seca um nível de 5,00 metros de profundidade.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2007	83,5	226,7	138,7	347,3	208,2	390,8	331	223,7	127,1	25,6	40	30,6
2008	85,7	32,3	395,4	314,2	415,7	391,8	374,3	294,4	47,6	53,6	16	18,3
2009	85,2	376,1	142,8	351,8	410,1	333	386,8	290,2	83,5	16,3	49,9	47,8
2010	193,4	45,2	92,7	273,3	114,3	543,9	259,4	191,2	74,3	37,4	23,5	84,8
2011	139,3	336,6	129,5	647,4	755,7	303,9	544,4	201,8	35,7	34,6	75	41,8
2012	198,6	189,8	138,8	55,8	190,2	296,5	261,7	163,5	19,7	54,4	9,9	25,1
2013	95,7	47,7	98,8	229	316,9	491,4	416,4	225,3	146	129,2	76,5	177,3
2014	108,9	148,2	252,4	268,5	315,1	322,8	278,9	162,2	248,9	146,5	56	71,3
2015	65,4	56,2	341,2	74,6	178,9	460,5	446,3	116	35,1	16,6	30,6	91,8
2016	124	70	265,1	293,6	478,3	148,5	111,3	58,3	58,2	14,1	17,8	68
2017	28,7	21,1	156,2	289,7	397,6	489	486,5	112,1	83,8	62,6	-	-

Tabela 1 - Série histórica de 10 anos de Precipitação mensal na Região Metropolitana do Recife, Estação: 82900, Unidade em milímetro (mm).

Fonte: Instituto de Meteorologia (INMET, 2017).

O perfil do solo da construção caracteriza-se por uma camada de 1,5 metro de aterro com predominância de solo Areia-Argila. E na camada subsequente o solo apresenta características arenosas, conforme ensaios de Sondagem a Percussão (em anexo) .

2.2 Metodologia

A presente pesquisa compreendem a análise do transportes de Contaminantes Nitratos (NO_3) e Nitritos (NO_2) do esgoto tratado destinados a uma vala de infiltração da Edificação do centro de Pesquisa do IFPE-Campus Recife (Figura 04). Para este estudo seguiu-se metodologias tanto com estudos *in loco* como ensaios em laboratórios a fim de se obter parâmetros para análise do transportes destes fluídos no meio poroso.



Figura 04 - Área da Vala de Infiltração do Centro de Pesquisa

Fonte: Acervo do Autor (2018)

O estudo abordou um modelo quantitativo (LAKATOS; MARCONI, 2011) no qual realizou-se a instrumentação *in loco* com levantamentos topográficos da área de estudos com o instrumento Estação Total modelo TOPCON gpt 7500, a fim de definir a seção da vala de infiltração do Esgoto com suas dimensões (área - m²) e profundidades (h – metro).

As investigações de solos se fez com Sondagem a Percussão - SPT (standard penetration test) conforme preconiza a Norma ABNT NBR 6484/1997 em 4 (quatro) pontos determinados no terreno e as amostras deformadas do solo foram obtidas a partir de 5 (cinco) furos, na área da vala de infiltração (Figura 5), com o auxílio de um trado tipo cravadeira com DN= 150 mm para estudos geotécnicos das camadas de solos, em profundidades de 0,50 metro e 1,00 metro, totalizando a retirada de 10 (dez) amostras deformadas do solo para posterior envio ao laboratório de geotecnia.

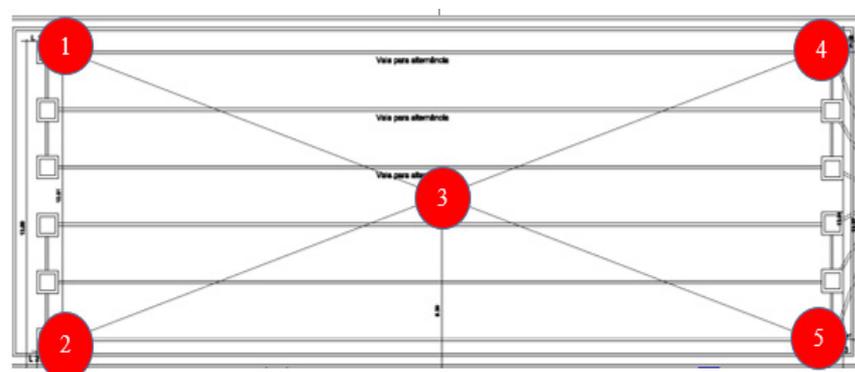


Figura 5- Localização dos Furos de Sondagem a trado na área da vala de infiltração

Fonte: Acervo do Autor (2018)

Os Ensaio de permeabilidade realizado *in loco*, na área da vala de Infiltração do Centro de pesquisa, com permeâmetro de carga variável fabricado de acordo com o manual sobre permeabilidade da associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE, 2013), os fluídos ensaiados para determinação do K (coeficiente de Permeabilidade) foram água (H₂O) e o percolado (Esgoto tratado) orindo do próprio sistema de tratamento do IFPE-Recife como também preconizou o número de ensaio pela NBR 13969/1997 (ensaio de infiltração):

- a. Deve ser no mínimo 3 pontos, distribuídos a cobrir a maior área do local em estudo;
- b. Utilizar o Trado com DN 150 mm para escavar as cravas verticais.

Logo, foram realizados 6 (seis) ensaios de permeabilidade *in loco* 3 (três) com (H₂O) e 3 (três) com Esgoto tratado, atendendo as recomendações da Norma citada.

No ensaio de carga variável, o valor da condutividade hidráulica, K, é calculado segundo a equação 1, conforme Manual de “Ensaio de permeabilidade em solos – Orientações para sua execução em campo” (ABGE,2013):

$$K = \frac{\Delta h}{\Delta t} \times \frac{D1^2}{8 \times h0 \times \sqrt{(D \times L)}} \quad \text{Eq: 01}$$

Donde:

- Δh é a variação das leituras de carga hidráulica no intervalo de tempo Δt ;
- D1 é o diâmetro do permeâmetros
- D é o diâmetro do furo de sondagem;
- L é o comprimento do trecho de ensaio;
- h0 é a altura entre o ponto de leitura no tempo t=0 e
- Ponto médio do trecho ensaiado (Δh + profundidade do revestimento abaixo do solo + L/2), como ilustrado na Figura 06.

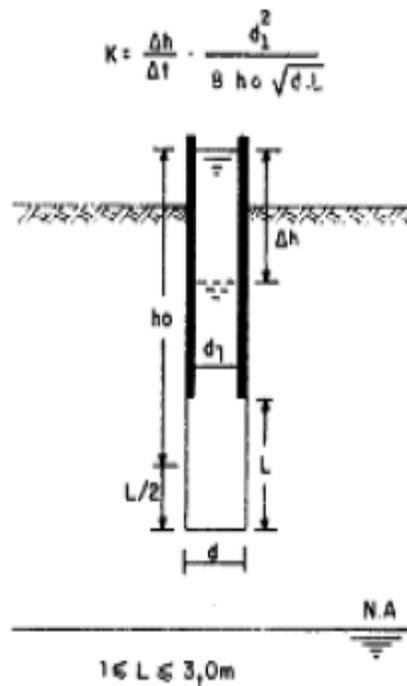


Figura 06 - Ensaio de Infiltração a nível variável

Fonte: Manual de Permeabilidade da ABGE - 2013

As atividades de laboratórios, no caso, das amostras dos solos foram enviadas ao departamento de Geotecnia da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. A priori foi realizado a caracterização física do Solo em estudo de acordo com a NBR-ABNT 7181:2016 (Solo - Análise granulométrica) a fim de determinar os percentuais granulométrico de cada tipologia do solo e posteriormente utilizou-se a classificação do solo pelo sistema unificado de classificação do solo (SUCS). Os resultados das análises dos solos obteve-se a granulometria de cada tipo de solo, Índices de Plasticidade, Limites de Liquidez, limites de Plasticidades e outros.

Para os ensaios de esgoto tratado foram realizados 7 parâmetros: a Demanda bioquímica de oxigênio (DBO), Demanda química de oxigênio (DQO), concentração de Nitrato (NO_3), concentração de Nitrito (NO_2), amônia (NH_3), coliforme totais e termotolerantes, de acordo com os parâmetros nacionais da resolução do Conama nº 357/2005. A amostra unitária Piloto (testemunha) de esgoto tratado retirada para análise é oriunda de uma caixa de distribuição do prédio do IFPE campus Recife que passou por um tratamento de Tanque séptico e tem destino para uma vala de infiltração com operação há cerca de 30 anos, os quais recebem águas servidas dos banheiros, laboratórios, cozinhas e localiza-se antes dos drenos de infiltração para o solo com localização precisa dos pontos de coleta através de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) com receptor de navegação GPS (Global Positioning System - Sistema de Posicionamento Global). Os métodos de amostragem e preservação das amostras de esgoto seguiram os procedimentos adotados pelo Standard Methods e encaminhados ao Laboratório de análises químicas, microbiológica e ambiental do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP).

Após os resultados do levantamento topográfico, ensaio de permeabilidade, ensaios geotécnicos, físico-químicos do esgoto tratado tem-se condições de calcular a velocidade média de percolação do contaminante, dividindo a velocidade de Darcy pela porosidade efetiva (n) através da Equação 2:

$$V = K \times i / n \quad \text{Eq: 02}$$

Em que:

- V é a velocidade linear média do fluido percolante;
- K é Condutividade hidráulica ou permeabilidade do fluído no meio poroso;
- i é o gradiente Hidráulico;
- n é a porosidade efetiva;

A equação 3: n (Porosidade efetiva), calculado pela equação de Van Beers (1965):

$$n = \sqrt{k_d} \quad \text{Eq: 03}$$

Em que:

- n é a porosidade efetiva;
- K_d é a Condutividade hidráulica ou permeabilidade (cm/ dia);

Após determinar a velocidade linear média do Fluido contaminante pode-se estimar ao longo do tempo (anos) o alcance da pluma contaminante do esgoto doméstico tratado no subsolo, verificando-se a possibilidade de atingir o nível do lençol freático e propor medidas de atenuação dos impactos.

Para obter um diagnóstico dos impactos ambientais, é preciso ter uma visão holística na análise dos dados, então foi aplicada a Matriz-PEIR. Para identificação e análise dos impactos negativos que poderão ser gerados e suas consequências para o meio ambiente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Levantamento Topográfico

O levantamento topográfico foi realizado segundo a NBR 13133 (1994), a execução de levantamento topográfico foi Realizado através de um plano cotado e seções transversais para acompanhamento da Terraplanagem (Figura 07) para a construção da Edificação de um Centro de pesquisa. A conclusão da Terraplanagem com material de empréstimo (Aterro) data de fevereiro do ano 2017.



Figura 07 - Terraplanagem concluída da Edificação

Fonte: Acervo do Autor (2018)

As seções transversais (Figura 08) é de extrema importância para o fim de uma confecção geométrica de uma modelagem das profundidades das camadas de aterros e do Terreno Natural.

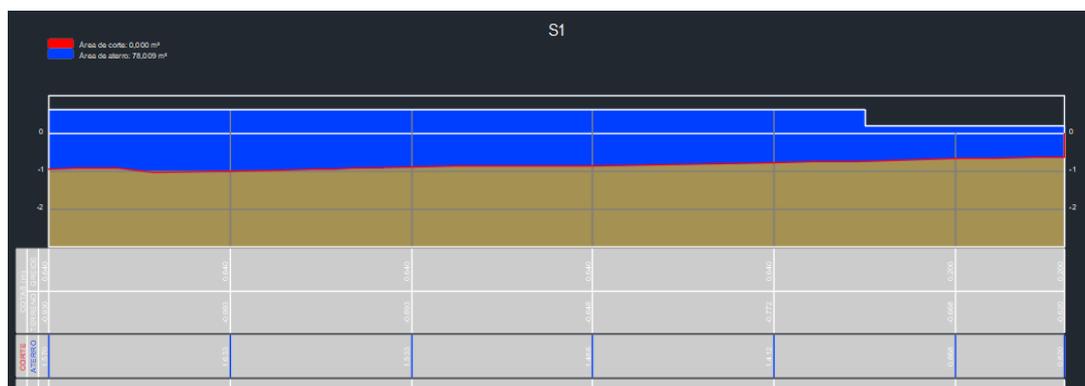


Figura 08 - Seção transversal Média da área de estudo

Fonte: Acervo do Autor (2018)

3.2 Sondagem A Percussão

O Standard Penetration Test (SPT) ou Sondagem a percussão é o mais popular e econômica ferramenta de investigação geotécnica em praticamente todo mundo. A sondagem SPT é um método de investigação de solo cujo avanço da perfuração é feito por meio de trado ou de lavagem, sendo utilizada a cravação de um amostrador padrão para a obtenção de medida de resistência à penetração, coleta de amostra e determinação do nível de água. O mesmo serve como indicativo da densidade de solos granulares e aplicado também na identificação da consistência de solos coesivos, e mesmo de Rochas brandas (SCHNEIDER; ODEBRECHT, 2012).

Os ensaios realizados seguiram os procedimentos da NBR 6484/1997, com o reconhecimento do material geotécnico através da Sondagem foi preponderante para a escolha do método a utilizar para determinação do coeficiente de permeabilidade (K) do solo, como também demonstrar as camadas dos solos e sua tipologia.

No presente trabalho, realizou-se 4 furos de Sondagem a Percussão (Figura 09), conforme layout abaixo, este furos foram locados na área de projeção da edificação do Prédio do Centro de Pesquisa, uma vez que subsidiário a elaboração dos projetos de Fundações, Estrutura da Edificação, e projetos hidrossanitários.

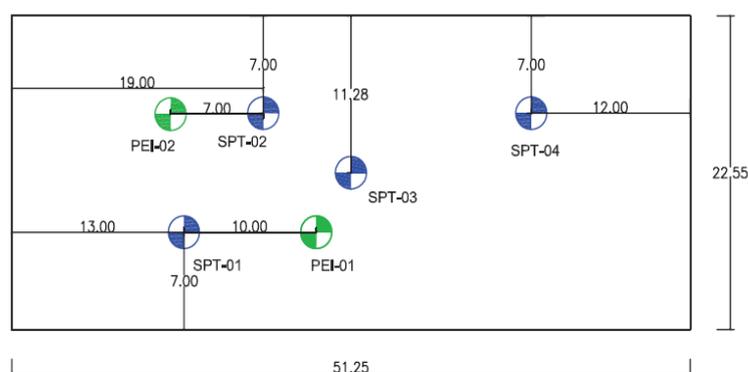


Figura 09- Localização do Furos de Sondagem a Percussão

Fonte: Departamento de Obras -IFPE (2012)

Os relatórios de Sondagem do Terreno apresentam uma classificação do material variando de uma areia fina, média e grossa, ressalta-se ainda que a camada de aterro (Areia-Argila) do Terreno ficou na média em torno de 1,50 metro com cota positiva em relação a cota 0,00 (Figura 10) dos ensaios de sondagem a Percussão.

Camadas (metro)	Perfil	Classificação do material	Descrição
1,5		AREIA-ARGILA	ATERRO
1			
0,5			
0		AREIA (FINA, MÉDIA A GROSSA)	TERRENO NATURAL
-1			
-2			
-3			
(-3 a - 24) : Limite da Sondagem			

Figura 10: Perfil adaptado e simplificado das camadas do Solo

Fonte: Acervo do Autor (2018)

3.3 Sondagem A Trado

A sondagem a trado tipo cravadeira seguiu as orientações da NBR 9603:2015. O trado é constituído por uma haste metálica, onde é fixado uma haste ortogonal numa das extremidades, enquanto que na outra extremidade podem ser fixados diversos tipos de perfuradores, no caso da utilização de trado escolheu um trado de Dn= 150 mm (Figura 11) para retiradas das amostras do solo.



Figura 11 - Trado cravadeira – DN=150 mm e amostras do solo

A escolha dos Furos para Sondagem a trado se fez na área da vala de infiltração, pois é o solo estudado para os transportes de contaminantes. Para retiradas das amostras deformadas do solo foram realizados 5 (cinco) furos (Figura 12), retirando amostras há uma profundidade de 0,50 metro e 1,00 metros, totalizando a retirada de 10 amostras de solos.

Profundidade (m)	Furo 1 e 2		Furo 3		Furo 4 e 5	Tipologia do solo
0,50						Areia-argila (Camada de Aterro)
1,00						
1,50						

Figura 12 - Perfil esquemático da retirada das amostras deformadas do solo

Fonte: Acervo do Autor (2018)

A partir da Sondagem a Percussão e a trado realizou-se uma união dos perfis e desenvolveu um corte esquemático das camadas do Solo (Figura 13).

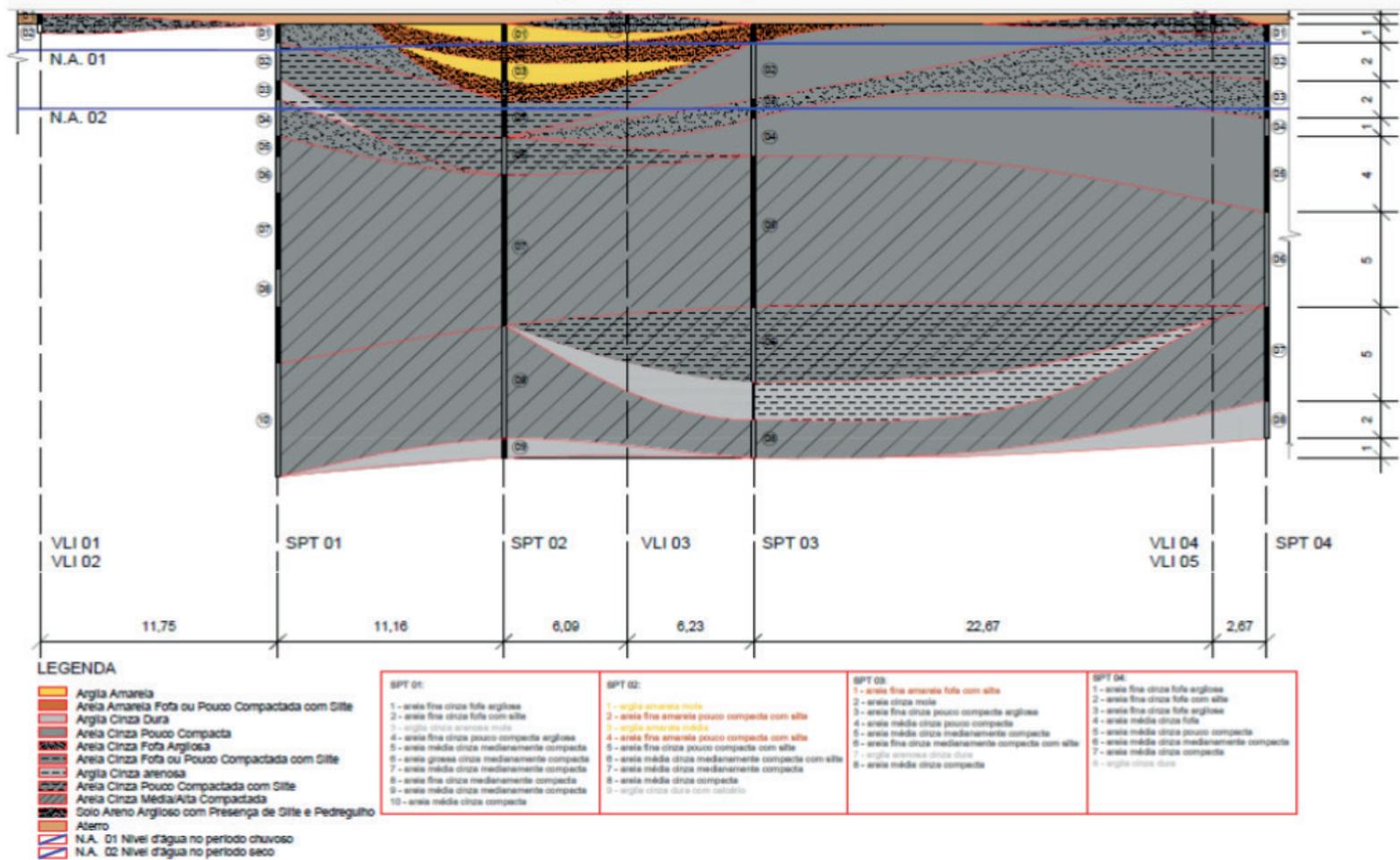


Figura 13 - Corte esquemático do Solo

Fonte: Acervo do Autor (2018)

3.4 Caracterização do solo

As 10 amostras retiradas a trado na área da vala de Infiltração foram encaminhadas ao laboratório de geotecnia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) para determinação das características físicas destes solos.

Visando determinar as curvas granulométricas de acordo com a NBR-ABNT 7181:1987, o ensaio de granulometria foi dividido em duas etapas que são: peneiramento dos solos grossos (Pedregulho e Areia) e a sedimentação para o peneiramento dos solos finos (Silte e Argila).

O ensaio de granulometria por sedimentação tem como objetivo a obtenção da curva granulométrica do solo, a Identificação da granulometria das partículas finas do solo, a comparação dos resultados de sedimentação das partículas com e sem o uso de defloculante (Figura 14), e por fim a verificação dispersividade do solo.



Figura 14 - Sedimentação das 10 amostras do Solo

Fonte: Acervo do Autor (2018)

Os ensaios de granulometria e sedimentação, permitiu obter os percentuais de cada tipo de partículas presentes no solos desde dos diâmetros maiores aos menores, conforme a Figura 15 de Granulometria.

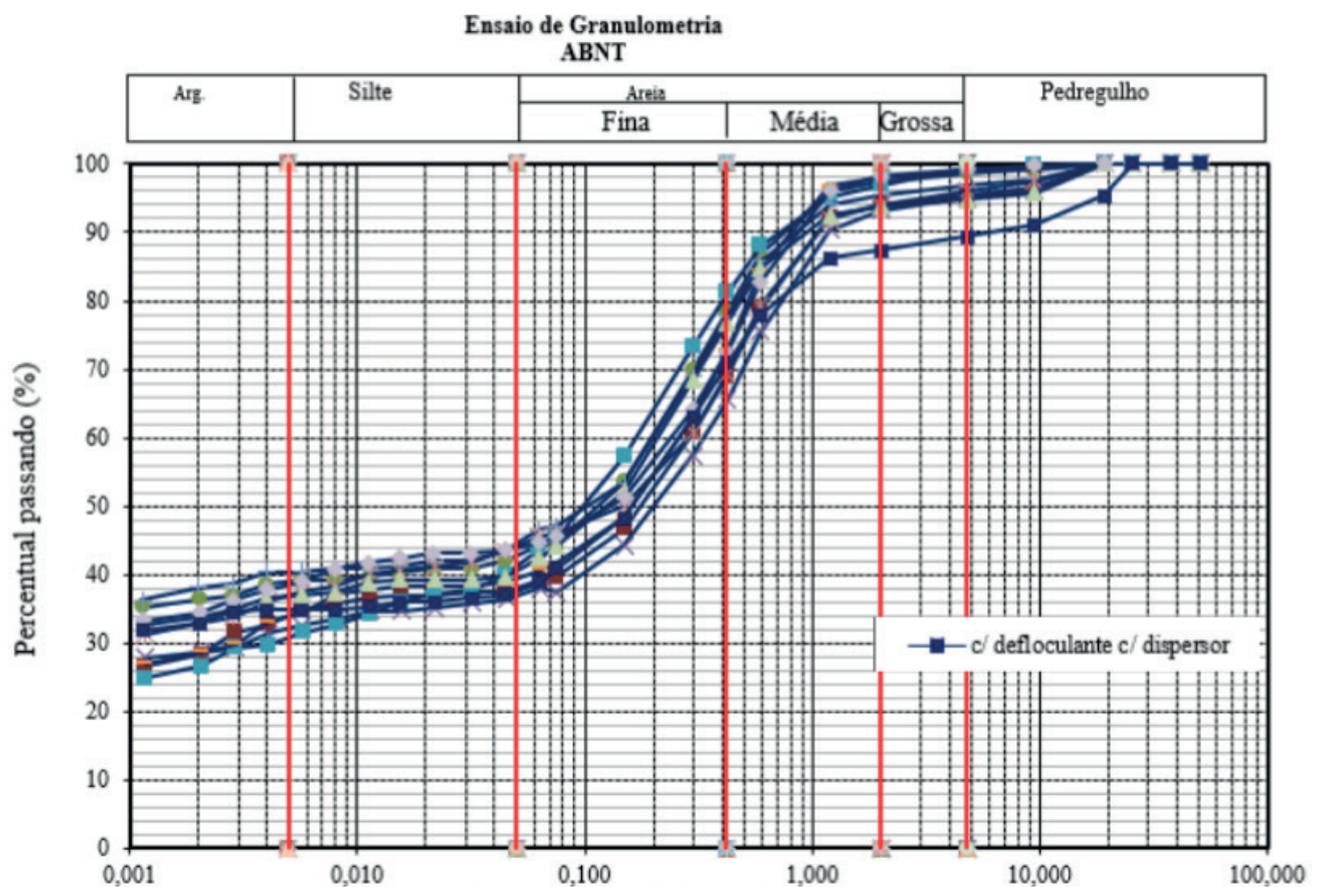


Figura 15 - Granulometria das 10 amostras dos solos

Fonte: Acervo do Autor (2018)

A Curva granulométrica das 10 amostras do solo demonstra a presença de um solo bem graduado pelo traçado do gráfico, conforme os estudos de Freitas e Neves (2017). Na Tabela 2 verifica-se os percentuais das frações granulométricas das amostras analisadas.

Ponto	Amostra Prof. (m)	Fração Granulométrica (%)			
		Pedregulho	Areia	Silte	Argila
1.1	0,5	5	57	4	34
1.2	1	2	55	4	39
2.1	0,5	5	58	5	32
2.2	1	1	58	10	31
3.1	0,5	1	59	6	34
3.2	1	4	52	4	40
4.1	0,5	4	52	7	37
4.2	1	5	55	3	37
5.1	0,5	1	55	6	38
5.2	1	11	55	6	38

Tabela 2 - Percentuais da fração granulométrica

Fonte: Acervo do Autor (2018)

O sistema de classificação unificada foi elaborado pelo professor Casagrande, tendo seu emprego generalizado, sendo utilizado principalmente para barragens de terra e obras aeroportuárias. Neste sistema, todos os solos são identificados pelo conjunto de duas letras, como mostra a Tabela 3.

Letras	Tipologia
G	pedregulho
S	areia
M	silte
C	argila
O	solo orgânico
W	bem graduado
P	mal graduado
H	alta compressibilidade
L	baixa compressibilidade
Pt	turfas

Tabela 3 - Terminologia do Sistema Unificado

Fonte: PINTO (2006, p.64)

As 10 amostras de solos foram classificadas como um solo SC (Areia-Argila) segundo a classificação do sistema unificado de Solos (SUCS). Realizou-se ensaios para determinação dos índices de consistência (Limites de Limites de Atterberg) Tabela 4, ou seja, verificar os níveis de umidades do solo para determinar os Limite liquidez (LL) , Limite de plasticidade (LP) e o índice de Plasticidade (IP) sendo a diferença numérica entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade ($IP = LL - LP$). Utiliza-se o IP como um dos parâmetros para a classificação dos solos, quanto maior o valor do IP, mais plástico o solo se apresenta.

Amostra		Limites de Consistência dos Solos (%)				Sistema de Classificação do Solo	
Ponto	Prof. (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Peso específico dos grãos (g/m ³)	Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS)	
1	0,5	33,04	19,9	13,14	2,638	SC (AREIA COM ARGILA)	
	1	33,15	19,71	13,44	2,638	SC (AREIA COM ARGILA)	
2	0,5	35,02	20,86	14,16	2,634	SC (AREIA COM ARGILA)	
	1	26,97	17,15	9,82	2,645	SC (AREIA COM ARGILA)	
3	0,5	28,73	18,06	10,67	2,624	SC (AREIA COM ARGILA)	
	1	34,62	20,48	14,14	2,634	SC (AREIA COM ARGILA)	
4	0,5	36,17	21,7	14,47	2,634	SC (AREIA COM ARGILA)	
	1	33,2	20,92	12,28	2,641	SC (AREIA COM ARGILA)	
5	0,5	34,21	20,53	13,68	2,641	SC (AREIA COM ARGILA)	
	1	33,82	20,62	13,2	2,641	SC (AREIA COM ARGILA)	

Tabela 4 - Índices de Consistência e sistema unificado de Classificação do Solo

Fonte: Acervo do Autor (2018)

O Solo estudado possui um percentual elevado de fração arenosa com predominância de fração maior de areia fina e também uma fração considerável de argila, dando ao solo um comportamento plástico típico de solos argilosos, nota-se pelo índice de Plasticidade (IP - %) que existe uma variação dentro do intervalo $7 < IP < 15$, caracterizando solo de plasticidade média .

3.5 Ensaio de permeabilidade carga variável *in situ*

Dentre as variáveis que influenciam o fluxo de água no solo, e assim, a recarga, bem como o transporte de poluentes, a condutividade hidráulica (K) ou coeficiente de

permeabilidade se destaca. A condutividade hidráulica é definida como a medida da resistência da água ao movimento através de um meio poroso ou como a medida da facilidade com a qual um meio transmite água, segundo Fitts (2002 apud BETIM, 2013). Seu significado físico é definido pelo “volume de líquido que flui perpendicularmente a uma unidade de área de um meio poroso sobre influência de um gradiente hidráulico unitário” Delleur (1999 apud BETIM, 2013). Na tabela 05 abaixo encontra-se faixa de parâmetro para permeabilidade de acordo com a classificação do solo com água (H₂O).

Material	Condutividade Hidráulica (cm.s-1)
Argila	10 ⁻⁹ – 10 ⁻⁶
Silte; silte arenoso	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁴
Areia argilosa	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁴
Areia siltosa; Areia fina	10 ⁻⁵ – 10 ⁻³
Areia bem distribuída	10 ⁻³ – 10 ⁻¹
Cascalho bem distribuído	10 ⁻² – 10 ⁰

Tabela 05 - Faixa de valores de condutividade hidráulica à água para vários materiais.

Fonte: Betim (2013).

Foram realizados ensaios (Figura 16) para obtenção da condutividade hidráulica *in situ* com carga variável, em furos de sondagem a trado acima do nível d'água, segundo metodologia do Manual de “Ensaio de permeabilidade em solos – Orientações para sua execução em campo” (ABGE, 2013).

Os ensaios foram realizados na camada de aterro, perfazendo um total de 6 ensaios permeabilidade sendo 3 ensaios com água e 3 ensaios com esgoto tratado do sistema antigo das edificações em funcionamento do IFPE, conforme orienta a NBR1369/1997, o mínimo de 3 ensaios para projetos de sumidouros, valas de infiltração ou filtração .



Figura 16 - Ensaio de permeabilidade com carga variável

Fonte: Acervo do Autor (2018)

Diversos ensaios para a determinação da condutividade hidráulica têm sido desenvolvidos e aperfeiçoados ao longo do tempo, buscando-se maior representatividade dos resultados, redução de custos dos ensaios e o aperfeiçoamento dos equipamentos de medição em campo, tornando-os mais práticos e de fácil utilização. A maioria dos ensaios é realizado com permeômetros (Figura 17) ou infiltrômetros visando a determinação da condutividade hidráulica em condições de saturação (LISBOA, 2006). O permeômetro consiste basicamente de um tubo de PVC com diâmetro aproximadamente igual ao do revestimento, no qual foram feitos dois furos, um superior e outro inferior, para o encaixe de joelhos; nesses foi acoplado um tubo de acrílico transparente e graduado, constituindo um vaso comunicante. Assim, a diminuição da carga hidráulica dentro do furo e por consequência, no permeômetro, era registrada através de leituras no tubo graduado.



Figura 17 - Permeâmetro de PVC fabricado

Fonte: Acervo do Autor (2018)

No ensaio de carga variável, foram realizadas sucessivas medições da variação da carga hidráulica em intervalos de tempo pré-determinados (0", 15", 30", 1', 2', etc) até atingir 30 minutos de ensaio ou uma variação de 20% da carga inicial aplicada - como determina a norma - ou rebaixamento tal que impedisse as leituras no tubo de leitura.

Os Resultados do coeficiente de Permeabilidade ou coeficiente hidráulico realizados na área da vala de infiltração são apresentados na tabela 06:

PERMEABILIDADE			
LOCAÇÃO	K (cm/s)	PERCOLANTE	
FURO 1	3,09E-05	Água (H ₂ O)	
FURO 2	2,08E-05	Água (H ₂ O)	
FURO 3	2,89E-05	Água (H ₂ O)	
Média aritmética	2,69E-05	Água (H ₂ O)	
FURO 1	2,32E-06	Esgoto doméstico Tratado	
FURO 2	1,78E-06	Esgoto doméstico Tratado	
FURO 3	1,89E-06	Esgoto doméstico Tratado	
Média aritmética	2,00E-06	Esgoto doméstico Tratado	

Tabela 06 - Valores da Permeabilidade (K) *in situ*

Fonte: Acervo do Autor (2018)

Ao analisar os resultados de permeabilidade *in situ* dos percolantes, observou-se uma variação em torno de 10 vezes entre o fluido água (H₂O) e o esgoto tratado, corroborando com os estudos (BETIM, 2013):

Autores verificaram ainda que os valores de K, ao longo do tempo, tendem à uniformização, em função do fechamento dos poros e pelo material em suspensão

contido nos lixiviados. Segundo eles, quanto maior for a quantidade de material em suspensão, mais rapidamente esta tendência é verificada. Deve ser considerada na interpretação do processo de impermeabilização a ação de processos biológicos e químicos – como precipitação, adsorção, sorção, entre outros (BETIM, 2013, p. 100).

Os valores médios dos coeficientes hidráulicos medidos *in loco* como também a tipologia do solos e seus parâmetros físicos são utilizados para calcular a velocidade média linear de percolação. Ressalta-se que as permeabilidades de 10^{-5} e 10^{-6} são típicas de solos com baixa permeabilidade.

3.6 Esgoto doméstico / sistema de tratamento

O esgoto doméstico é aquele que provem principalmente de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõe de instalações de banheiros, lavanderias e cozinhas. Compõem-se essencialmente da água de banho, excretas, papel higiênico, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem (FUNASA, 2004).

Os esgotos domésticos são constituídos aproximadamente de 99,9% de líquido e o restante 0,1% de material sólido (Figura 18), contém basicamente matéria orgânica e mineral (em solução e suspensão), assim como alta quantidade de bactérias e outros organismos patogênicos e não patogênicos Mara(1976 Apud ÁVILA, 2005).

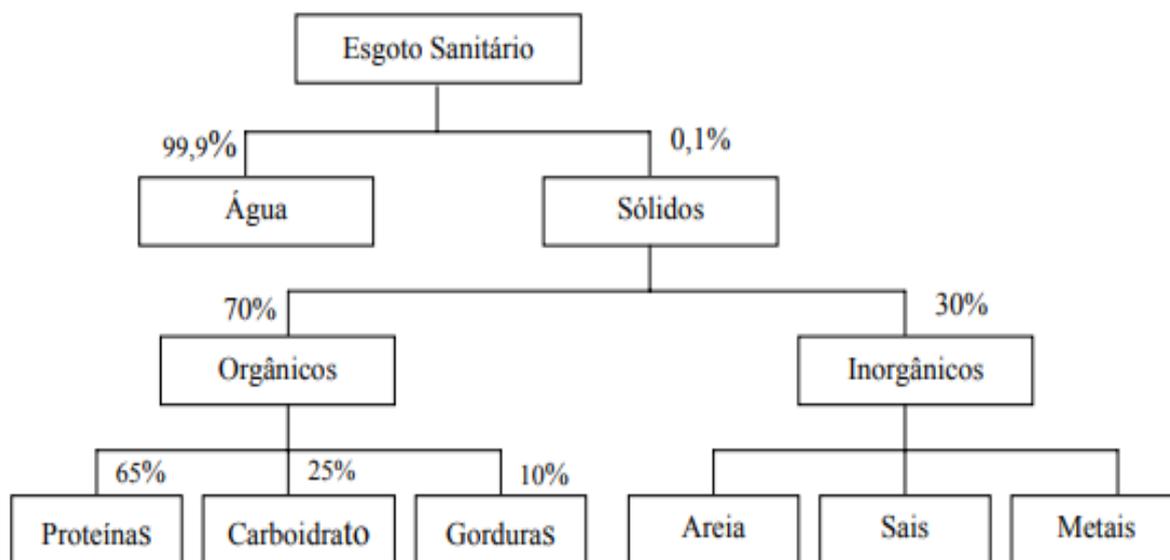


Figura 18 - Percentual de composição do esgoto

Fonte: ÁVILA (2005).

As edificações que não dispõem de rede pública coletora de esgotos necessitam adotar medidas para o tratamento e disposição dos efluentes. Os sistemas compostos por tanques sépticos interligados em valas de infiltração ou sumidouros representam uma solução possível para o problema, desde que o nível do lençol freático esteja

numa profundidade onde não haja risco de contaminação.

No Brasil, são empregadas várias técnicas de tratamento de esgotos, desde sofisticados sistemas até processos simples. Entre as tecnologias de baixo custo e pequenas vazões desenvolvidas nos últimos vinte anos, destacam-se: reatores anaeróbios de fluxo ascendente por meio de lodo, tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios e formas de disposição controlada no solo (ÁVILA, 2005).

A solução individual para destino de esgoto sanitário (ou tratamento localizado de esgoto) da edificação pesquisada é composto por tanque séptico, filtro anaeróbio e vala de infiltração (Figura 19), conforme as especificações da NBR 7229 (1993), tendo uma estimativa de 200 contribuintes/dia e vazão de esgoto de 10.000 litros/dia, segundo dados do projeto hidrossanitário da edificação, Centro de Pesquisa.



Figura 19 - Sistema de tratamento de esgoto

Fonte: Adaptado, Departamento de Obras e Projetos de engenharia do IFPE, 2017

Os tanques sépticos são reatores biológicos anaeróbios, onde há reações químicas com a interferência de microrganismos, os quais participam ativamente no decréscimo da matéria orgânica, como descrito na NBR-13969, com o título “Tanques Sépticos – Unidade de Tratamento Complementar e Disposição Final de Efluentes Líquidos – Projeto e Construção”.

Nesses tanques, o esgoto é tratado na ausência de oxigênio livre (ambiente anaeróbio), ocorrendo a formação de uma biomassa anaeróbia (lodo anaeróbio) e formação do biogás, que é composto principalmente de metano e gás carbônico (Figura 20).

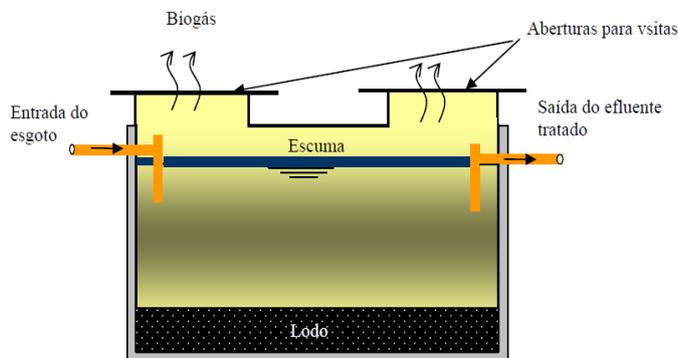


Figura 20- Tanque séptico de Câmara única e processo de tratamento

Fonte: ÁVILA (2005)

Suas principais funções são: reter os despejos domésticos e/ou industriais por um período determinado, permitir a sedimentação dos sólidos, decomposição da parte orgânica e retenção do material graxo (ÁVILA, 2005).

Podem ser construídos em câmaras simples (Figura 21) ou divididas em compartimentos verticais ou horizontais. Podem ter forma retangular ou cilíndrica, e são dotados de aberturas para entrada do esgoto e saída do efluente tratado.

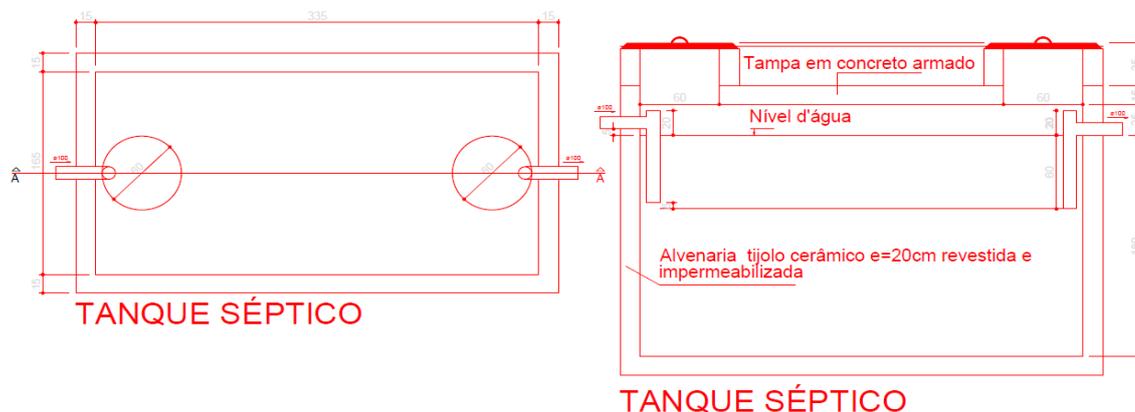


Figura 21 - Tanque Séptico de câmara simples

Fonte: Departamento de Obras e Projetos de engenharia do IFPE (2017)

Os filtros anaeróbios ascendentes consistem basicamente em tanques contendo leito de pedras (Figura 22) ou outro material inerte que serve de suporte para aderência e desenvolvimento de microrganismos, como descrito na NBR-13969 - 1993, com o título “Tanques Sépticos – Unidade de Tratamento Complementar e Disposição Final de Efluentes Líquidos – Projeto e Construção”.

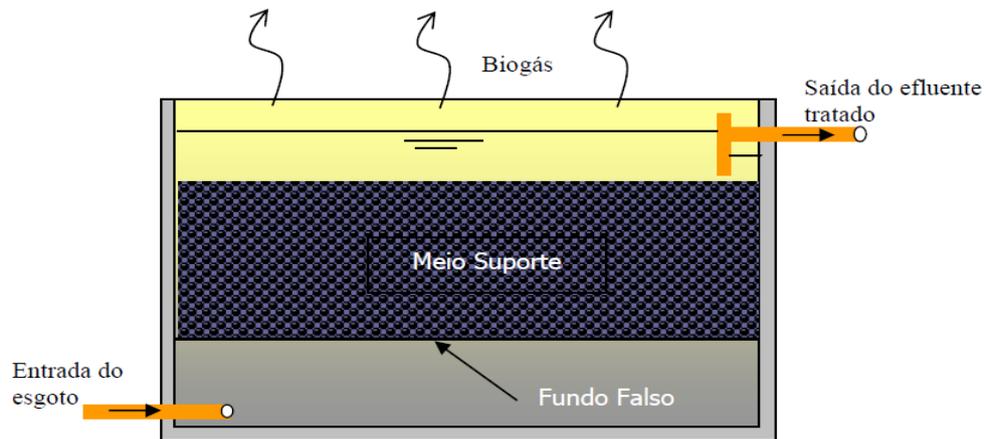


Figura 22 - Filtro anaeróbio ascendentes

Fonte: ÁVILA (2005)

Os filtros anaeróbios são reatores biológicos preenchidos com material inerte com elevado grau de vazios, que permanece estacionário, e onde se forma um leito de lodo biológico fixo. O material de enchimento (Figura 23) serve como suporte para os microrganismos, que formam películas ou um biofilme na sua superfície, propiciando alta retenção de biomassa no reator (ÁVILA, 2005).

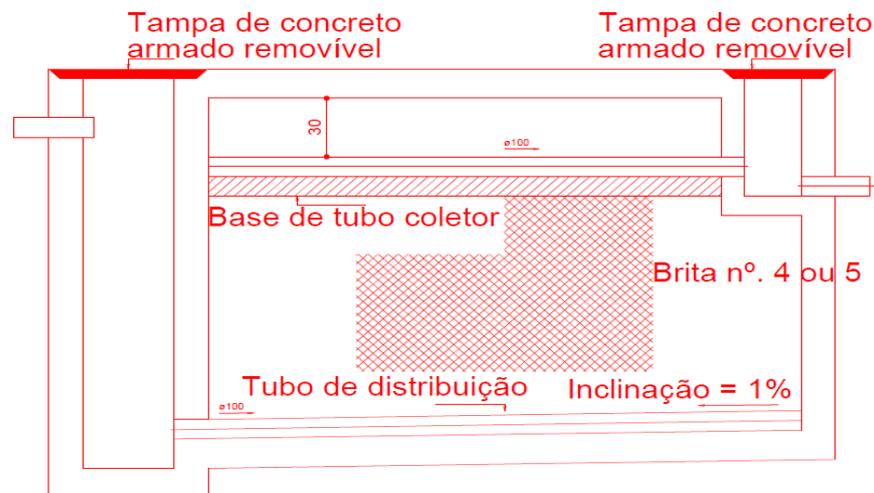


Figura 23 - Filtro anaeróbio de fluxo ascendente.

Fonte: Departamento de Obras e Projetos de engenharia do IFPE (2017).

Norma NBR-13969/97 apresenta a faixa de eficiência obtida pelos filtros anaeróbios em conjunto com o tanque séptico em função da temperatura. Para a DBO 5,20, a eficiência pode variar de 40 a 75%, para DQO, de 40 a 70%, para sólidos suspensos, de 60 a 90% e para sólidos sedimentáveis, 70% ou mais. Os limites inferiores correspondem às temperaturas abaixo de 15°C e os limites superiores correspondem às temperaturas acima de 25°C.

A NBR 7229/93 define valas de infiltração (Figura 24) como um sistema de

disposição do efluente líquido, que possibilita sua infiltração no solo e é composto por caixa de distribuição, caixa de inspeção e tubulação perfurada assente sobre uma camada de pedra britada.

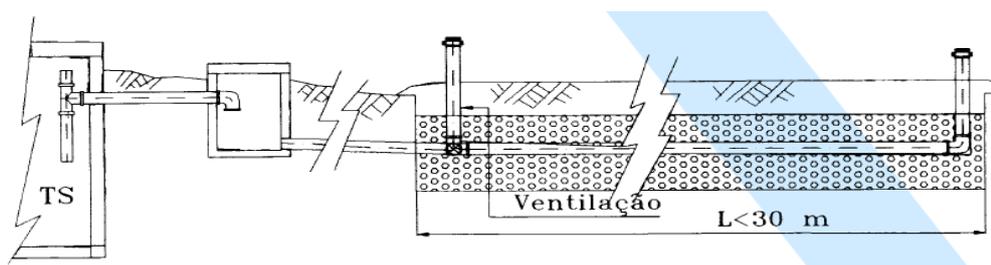


Figura 24 - detalhe esquemático de uma vala de infiltração

Fonte: ABNT (1997)

No sistema individualizado de tratamento de esgoto doméstico a vala de infiltração torna-se o último estágio do Processo do tratamento para o fluído (Esgoto tratado) a ser percolado pelo meio poroso (Figura 25).

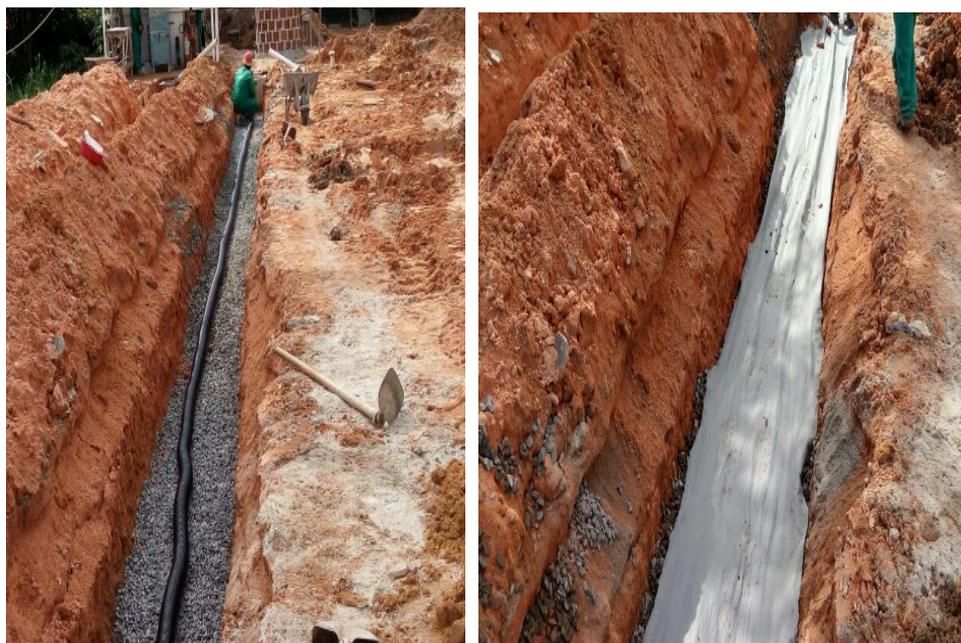


Figura 25- Sistema construtivo da Vala de infiltração

Fonte: Acervo do Autor (2018)

Existindo segundo normativa a distância mínima do lençol aquífero, segundo item “5.1.3.2 da NBR 13969:1997. A referida resolução ainda aplica distância mínima vertical entre o fundo da vala de infiltração e o nível máximo da superfície do aquífero de 1,5 m. Ou seja, neste aspecto com as sondagem a Percussão e com o levantamento topográfico realizados, a profundidade da vala de infiltração em relação ao Lençol freático no período chuvoso dista a 2,70 metros do nível hidrostático, atendendo as recomendações da Norma citada.

A coleta da amostra simples do Esgoto (Figura 26) foi obtida na caixa de inspeção da vala de infiltração do sistema existente da unidade Educacional que tem operação em torno de 30 anos, conforme coordenadas UTM da tabela 07.



Figura 26 - Coleta da amostra de esgoto tratado do sistema em operação do IFPE.

Fonte: Acervo do Autor (2018)

LOCAL	COORDENADAS UTM		FUSO	ZONA
	NORTE (metros)	ESTE (metros)		
CAIXA DE INSPEÇÃO	9.108.576	285.139	25	L

Tabela 07 – Coordenada Universal Transversa Mercator (UTM) da Vala de infiltração

Fonte: Acervo do Autor (2018)

A amostra do Esgoto doméstico piloto tratado foi analisada, no laboratório de físico-química, microbiologia e tecnologia ambiental do ITEP conforme os parâmetros e resultados apresentados na tabela 08:

Parâmetros	Resultados	Unidade	Método
Demanada Química de Oxigênio	75,9	mg O ₂ /L	SMEWW 5220 C
Demanada Bioquímica de Oxigênio	2	mg O ₂ /L	SMEWW 5210 B
Nitrato (NO ₃)	55,2	mg/L	SMEWW 4500 B
Nitrito (NO ₂)	12,8	mg/L	SMEWW 4500 B
Amônia (NH ₃)	14,6	mg/L	SMEWW 4500 F
Coliformes Totais	2	NMP/ 100 mL	APHA -EPA

Tabela 08 - Resultados dos Parâmetros do Esgoto Tratado

Obs. NMP: Número mais provável.

Fonte: ITEP- Laboratório de Físico Química / Microbiologia (2018)

A Resolução nº 357/2005 do CONAMA que dispõe sobre: “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”. Esta resolução define 3 classes de água doce para ser abastecida para o consumo humano, logo após análise dos Parâmetros apresentados na Tabela 08, identifica-se que a amostra do esgoto tratado tem valores acima da tolerância das 3 (Três) classes de água doce presentes na Resolução, ou seja, a infiltração deste fluido no meio poroso acarretará contaminação.

Percebe-se o ciclo do Nitrogênio na tabela 08, o nitrato é formado por uma reação sequencial catalisada por microrganismos, através da oxidação da amônia em nitrito e, do nitrito em nitrato. Concentrações de nitrato superiores a 10 mg N-NO₃-/L, de acordo com a organização Mundial da Saúde (OMS) e Ministério da Saúde podem causar a metemoglobinemia, podendo trazer graves consequências para a saúde inclusive morte, principalmente em lactentes (MOTA ; SPERLING, 2009).

O processo de redução do nitrato a nitrito e este a amônia, gás nitrogênio ou óxido nítrico é chamado desnitrificação (Figura 27) e ocorre em solos saturados com água ou realizado pelas bactérias do gênero *Pseudomonas* que podem ser usadas para retirar nitrato e nitrito da água (MEURER, 2004). A maioria das plantas absorvem nitrato, uma exceção é o arroz (*Oryza sativa*, L.) que devido ao seu sistema de produção sob lamina de água se adaptou a absorver amônio (MEURER, 2004). Logo a utilização de vegetação específicas se faz interessante para a purificação da água servida e consequentemente diminuição da concentração de Nitrato no meio poroso saturado.

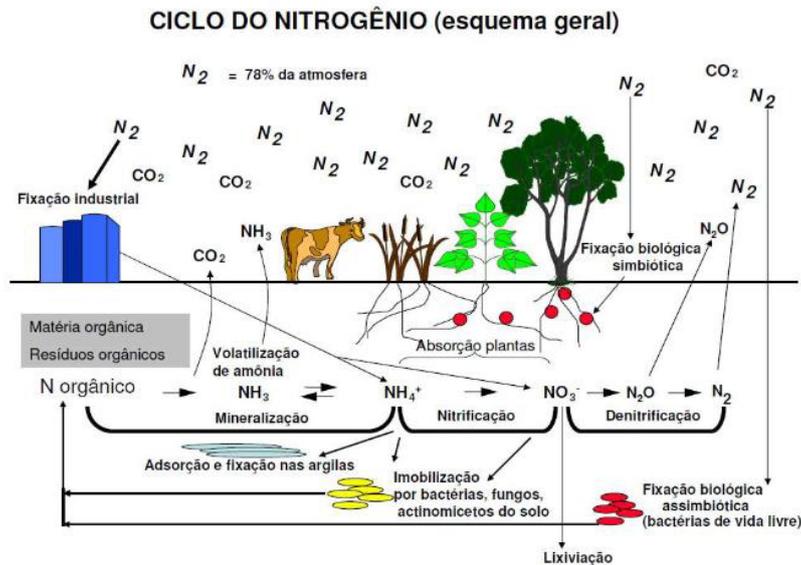


Figura 27 - Desnitrificação (NO_3 para NO_2)

Fonte: <https://biologianet.uol.com.br/ecologia/ciclo-nitrogenio.htm>.

Apesar da absorção de nitrato, as plantas não conseguem assimilar este composto e produzir biomassa a partir dele, para a assimilação de nitrogênio é necessário que este esteja reduzido a amônia, por isso as plantas desenvolveram um complexo metabólico enzimático que consegue reduzir nitrato a amônio, este processo ocorre em duas fases (TAIZ; ZIEGER, 2009).

Segundo LINS (2011), em estudos realizado no Aterro da Muribeca, Jaboatão dos Guararapes - PE, para tratamento do Lixiviado, utilizou-se vários métodos de tratamento em escala piloto a fim de diminuir a carga contaminante deste lixiviado. O mesmo autor ainda afirma que uma das propostas é o tratamento do lixiviado por barreiras reativas com carvão ativado, ou seja, nos estudos realizados, as amostras de amônia (NH_3) e a demanda química de oxigênio (DQO) tiveram reduções médias após o tratamento 40,6 % e 50,5%, respectivamente, conforme a Figura 28.

Amostra:	Precipitação Química	Stripping da Amônia	Correção de pH	Barreira Reativa
Amônia	Mín. 3,9% Méd. 13,5% Máx. 20,5%	Mín. 9,8% Méd. 12,6% Máx. 15,1%	Mín. 2% Méd. 6,2% Máx. 9,5%	Mín. 21,2% Méd. 40,6% Máx. 56%
Condutividade	Mín. -54,4% Med.-48,3% Máx. -44,9%	Mín. 0,1% Méd. 6,6% Máx. 14,1%	Mín. 19% Méd. 28% Máx. 35%	Mín. - 8,8% Méd. 8,8% Máx. 31%
Turbidez	Mín. 68,1% Med. 79,6% Máx. 88,8%	Mín.-43,3% Méd. - 8,8% Máx. 22,6%	Mín. -43,3% Méd. -13,5% Máx. 9,7%	Mín. 15,5% Méd. 33% Máx. 64,7%
DQO	Mín. 27,6% Méd. 45,7% Máx. 58,2%	Mín. 3,5% Méd. 8,6% Máx. 16%	Mín. 23,7% Méd. 30% Máx. 34,3%	Mín. 18,9% Méd. 50,5% Máx. 63,9%
Cor	Mín. 74,6% Med. 85% Max. 97,9%	Mín. 3,9% Méd. 8,8% Máx. 13,1%	Mín. 6,9% Méd. 30,3% Máx. 68,5%	Mín. 41,5% Méd. 59,4% Máx. 81,2%

Figura 28 - Desempenho Mínimo, Médio e Máximo das unidades de Tratamentos

Fonte: LINS (2011)

Logo a utilização de vegetações típicas de cada região para contribuir com a absorção do Nitrato (NO_3) /Amônia (NH_3) no meio poroso como também um pós tratamento do carvão ativado é de extrema importância para diminuir as cargas contaminates por Nitratos, Nitritos e amônia oriundas do esgoto doméstico.

3.7 Velocidade Linear Média do fluido

Denomina-se de advecção o transporte de contaminantes devido ao processo de fluxo de água no solo. Com o deslocamento da água, os solutos presentes na mesma se movimentam com uma velocidade que é igual à velocidade media da água e sem alterar sua concentração na solução (THOMÉ, KNOP, 2018). Advecção é um dos principais mecanismos de transporte de contaminante no meio poroso.

No transporte advectivo de solutos que não interagem com o meio poroso, a frente de contaminação é abrupta e move-se a uma velocidade igual à velocidade linear média (v) do fluido percolante, geralmente a água, sem que seu pico de concentração seja alterado.

A condutividade hidráulica é um importante parâmetro no que se refere ao transporte de contaminantes, visto que esta representa a maior ou menor resistência que o meio oferece à percolação de água, conseqüentemente, aos contaminantes dissolvidos nesta.

Nas amostras dos 3 furos de sondagem a trado e baseado na condutividade hidráulica dos ensaios *in situ* com esgoto tratado cosegue-se determinar a velocidade média linear do meio (Tabela 09).

Velocidade linear média cm/ano	Furo 1	Furo 2	Furo 3
1º) Ano	5,34	1,86	2,3
2º) Ano	10,68	3,73	4,61
3º) Ano	16,02	5,59	6,91
4º) Ano	21,37	7,45	9,22
5º) Ano	26,71	9,31	11,52
6º) Ano	32,05	11,18	13,83
7º) Ano	37,39	13,04	16,13
8º) Ano	42,73	14,9	18,43
9º) Ano	48,07	16,76	20,74
10º) Ano	53,42	18,63	23,04

Tabela 09 - Velocidade média linear de alcance da pluma Contaminante

Fonte: Acervo do Autor (2018)

Os cálculos da velocidade média linear de alcance descritos na tabela 9, plota-se um gráfico (Figura 29) a fim de observar ao longo tempo (ano) o alcance da pluma contaminante levando em consideração o processo de Advecção. Ressalta-se que a estimativa de alcance da pluma de contaminação do Esgoto Tratado, no caso os Nitratos, Nitritos, Amônia, é 53,42 cm no 10º ano conforme descrito no Furo 1.

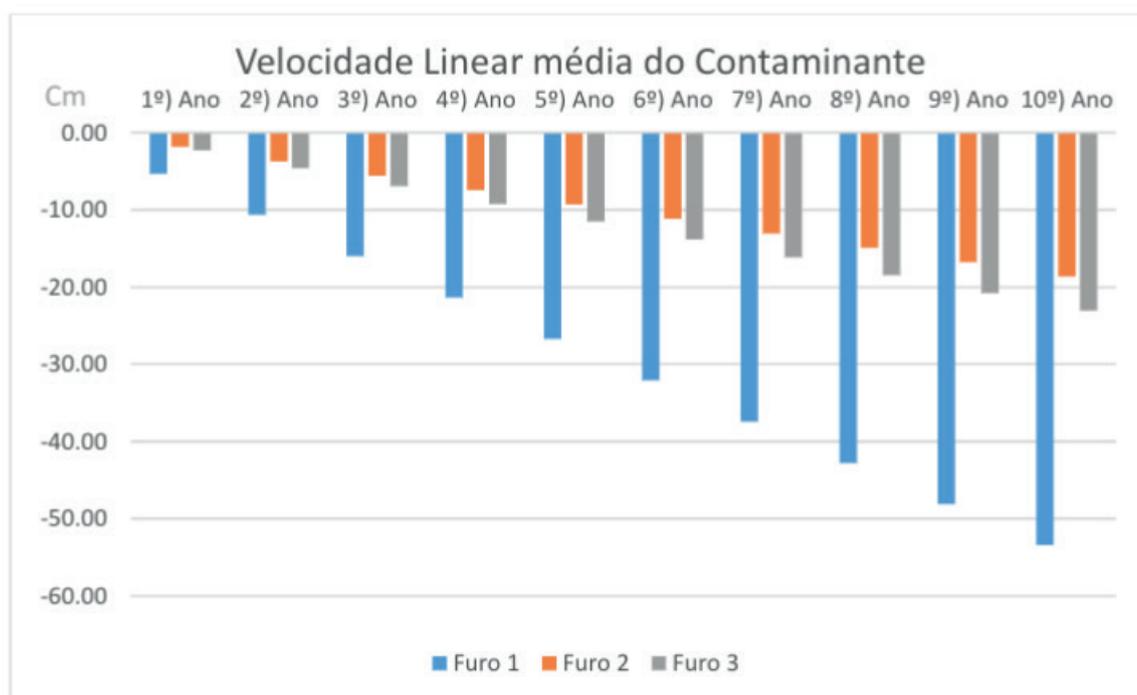


Figura 29 - Velocidade média linear x tempo

Fonte: Acervo do Autor (2018)

Como o nível hidrostático do Lençol freático encontra-se a 2,85 metros no período chuvoso e na estação seca a um nível de 5,00 metros de profundidade, atenua-se a

contaminação pelo esgoto tratado ao lençol freático, devido a pluma não ter alcançado estas profundidades no período estimado de 1 a 10 anos.

3.8 Matriz-Peir

O Modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) é o marco ordenador mais utilizado na análise de estatísticas e indicadores da área ambiental e do Desenvolvimento Sustentável. Está fundamentado em um marco conceitual que aborda os problemas ambientais segundo uma relação de causalidade. Os indicadores desenvolvidos pelo modelo buscam responder a três questões básicas: o que está acontecendo com o ambiente (Estado); por que isso ocorre (Pressão) e o que a sociedade está fazendo a respeito (Resposta) (CARVALHO ; BARCELLOS, 2010).

A Matriz-PEIR, acrescenta a variável Impacto sendo utilizada para orientar na avaliação do estado do Meio Ambiente e o que pode ser feito para mitigar ou evitar os problemas atuais e futuros . A matriz é classificada em quatro indicadores principais: pressão, estado, impacto e resposta (LINS, et al, 2018). Os Modelos PEIR e FPEIR incluem o Impacto (I), que são os indicadores que medem as consequências da degradação ambiental sobre o homem e em seu entorno.

De posse de todas as informações foi possível montar a Matriz PEIR para análise do comportamento e possíveis impactos ambientais gerados pelos efluentes líquidos (Figura 30). Procurar compreender a causa e efeito das ações antrópicas sobre o meio ambiente é fundamental para tomada de decisões que contribuirá na orientação do diagnóstico ambiental e o que pode ser feito para prevenir e mitigar os impactos negativos atuais e futuros.

PRESSÃO	ESTADO	IMPACTO	RESPOSTA
Valores acima dos Parâmetros da normativa do Conama	Percolação de efluentes líquidos	<ul style="list-style-type: none"> >Contaminação dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos; >Contaminação do solo; > Disseminação de doenças; 	<ul style="list-style-type: none"> >Solo com baixa permeabilidade (impermeável); >Tratamento do efluentes pelo sistema Radicular da vegetação; >Pós-tratamento com Carvão ativado (Proposta) > Velocidade média de Percolação (Advecção) do Contaminante Baixa.

Figura 30: Matriz PEIR para percolação de esgoto tratado em vala de infiltração

Fonte: adaptado, Lins;Castro (2018)

Ao analisar a matriz PEIR percebe-se que existe o risco de impacto ambiental alto, no entanto as características apresentadas pelo o Solo estudado como a baixa permeabilidade, a própria vegetação aplicada no local, a baixa velocidade de percolação definem o comportamento do efluente líquido no meio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) com base no relatório da Associação Brasileira De Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) de 2015 retrata que 22.266.728 domicílios tratam seu esgoto doméstico por meio de fossas rudimentares ou tanques sépticos sem ligação com rede coletora de Esgoto.

O levantamento topográfico planialtimétrico com seções transversais da vala de infiltração forneceu a geometria das camadas de aterro com altura em torno de 1,5 metro acima do nível 0,00 metro do Terreno natural da vala de infiltração.

A determinação pela seção transversal das camadas de Aterro do Solo subsidiou a realização das sondagens a trado na profundidade de 0,50 metro a 1,00 metro para retiradas das 10 amostras dos solos que pela classificação unificada dos Solos (SUCS) são da tipologia Areia-Argila. Como também a Sondagem a Percussão determinou o nível hidrostático do Lençol freático, variando de -3,00 metros no período de estação chuvosa e de - 5,00 metros na estação seca.

Os ensaios de Permeabilidade (K) *in situ* com água e com o esgoto doméstico corroboraram com a classificação do Solo de aterro (areia-argila), isto é, a média da Condutividade hidráulica para a água é de $2,69 \times 10^{-5}$ e para o esgoto de $1,99 \times 10^{-6}$.

A amostra piloto do esgoto demonstra que as concentrações de Nitrato (NO_3) com 55,20 mg/L e do Nitrito (NO_2) com 12,80 mg/L estão acima da faixa da Resolução do CONAMA N°357, acarretando risco a contaminação do solo e do Lençol freático. Tais concentrações convergem para a literatura de que o sistema de tratamento por tanque séptico, Filtro aneoróbio e vala de infiltração pode acarretar danos ao meio ambiente a partir da sua percolação no meio poroso.

A partir dos dados de Permeabilidades, porosidade efetiva determinou-se a velocidade média linear do Transporte de contaminates por Advecção nos 3 (três) furos de sondagem. O maior alcance da pluma de contaminação do Esgoto doméstico tratado é 53,43 cm de profundidade no período de 10 (dez) anos, não atingindo o nível freático e conseqüentemente não propagando a contaminação da pluma.

Os estudos de desnitrificação confirmam a retirada do Nitrato do meio poroso pelas raízes das plantas e como a velocidade linear média é considerada baixa ao longo dos 10 (dez) anos, a própria vegetação assente na vala de infiltração através do seu sistema radicular pode se beneficiar do Nitrato que é reduzido a amônia no interior da célula vegetal e consumir-lo atenuando a carga de contaminação no solo.

Com os parâmetros e estudos realizados constata-se que a carga de contaminação oriunda da amostra do Esgoto doméstico não atingir o nível do lençol freático, não gerando a propagação da contaminação. A utilização da própria vegetação com seu sistema radicular contribui para decrescer os níveis de Nitratos e Nitritos a patamares

aceitáveis de acordo com a Resolução do Conama 357/05.

Como possibilidade para futuras pesquisas pode-se propor e estudar o pós-tratamento do esgoto tratado com carvão ativado. Tal solução é comprovada e bastante eficaz na redução da concentração de Amônia e conseqüentemente a de Nitrato no meio.

A matriz PEIR demonstra que existe a possibilidade do Impacto ambiental alto , mas as respostas do sistema demonstram que as características do meio mitigam esta possível contaminação.

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. **Ensaio de Permeabilidade em Solo: Orientação para sua Execução no Campo**. Coordenadores: AZEVEDO, A. A.; AZEVEDO FILHO, J. L. São Paulo, 2013. 35 p.

ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Aos 10 anos da Lei do Saneamento Básico, Brasil ainda apresenta condições lamentáveis**. 2015, Rio de Janeiro. Disponível em < <http://abes-dn.org.br/pdf/Release.pdf> > , acessado em 15 de dezembro, 2018, p. 1 - 4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13133**. Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1996. 35 p.

_____. **NBR 13969**. Tanques sépticos – Unidades de Tratamento Complementar e disposição Final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997. 8p.

_____. **NBR 14545**. Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Rio de Janeiro, 2000. 11p.

_____. **NBR 6484**. Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001. 17p.

_____. **NBR 6508**. Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984. 8p.

_____. **NBR 7181**. Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016. 12 p.

_____. **NBR 7229**. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 9603**. Sondagem a trado – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ÁVILA, Renata Oliveira de. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS TANQUE SÉPTICO-FILTRO ANAERÓBIO COM DIFERENTES TIPOS DE MEIO SUPORTE**. 2005. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Pós-Graduação de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

BETIM, L. S. **Caracterização da condutividade hidráulica dos solos e estudo da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do Córrego Palmital**. 2013. 209 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Viçosa/MG. Viçosa - MG, 2013.

BRASIL, **Resolução do CONAMA 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, Brasília, 2005.

CARVALHO, P. G. M. de. & BARCELLOS, F. C. Mensurando a Sustentabilidade. In: MAY, P. **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. 3 ed. Rio de Janeiro, Editora Campus, 2010, p. 99-132

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **aumento da contaminação do solo ameaça segurança alimentar, dia Mundial do solo**. 2018. Disponível em:

< <https://nacoesunidas.org/fao-aumento-da-contaminacao-do-solo-ameaca-seguranca-alimentar/>>. Acesso em: 10 de dezembro. 2018.

FREITAS, Gabriel Sousa de; NEVES, Thadeu Conti das. **ESTUDO DE SOLOS BEM GRADUADOS POR MEIO DO ENSAIO DE COMPACTAÇÃO**. Revista Educação - Ung-ser, Guarulhos, v.12, n.2, Semestral ,p.50. 2017. Disponível em: <<http://revistas.ung.br/index.php/educacao/article/view/3279/2358>>. Acesso em: 13 dez. 2018.

FUNASA- Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 3º edição, Brasília. 2004.

HARTMANN, Cinthia Monteiro et al. In: ANDREOLI, Cleverson Vítório (Coord.). **Lodo de fossa séptica: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 2009.

IFPE – INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO. **Projeto hidrossanitário**. Recife- PE. 2017.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados meteorológicos da Série histórica de 10 anos de Precipitação mensal na Região Metropolitana do Recife, Estação: 82900**. Recife-PE, 2017.

LINS, E. A. M. **Proposição e avaliação de um sistema experimental de processos físicos e químicos para tratamento de lixiviado**. 2011, 277 pg. Tese (Doutorado em engenharia civil) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife - PE, 2011.

LINS, Eduardo Antonio Maia; MELO, D. C. P, et al. **UMA ANÁLISE AMBIENTAL DOS IMPACTOS NEGATIVOS GERADOS PELO CEMITÉRIO DE SÃO LUÍS, ESCADA - PE**. In: 1º CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 1., 2018, Gramados. **Congresso**. Gramado: Conresol, 2018.

LISBOA, R. L. L. **Determinação da condutividade hidráulica não saturada de solos residuais com o permeâmetro Guelph e ensaios de laboratório**. 2006. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2006.

MARCONI, M. de A. & LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa**. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2011. 277 p.

MARQUES, J. A. F.; VICTOR, J. **Estudo Comparativo do Coeficiente de Absorção dos Solos do Terciário de Maceió-Al, com os Valores Sugeridos por Norma**. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 15º, 2010, Gramados-RS. Disponível em <[http://www.agmgeotecnica.com.br/files/\(3.14\)%20COBRAMSEG%202010%20Coeficiente%20de%20Absor____o.pdf](http://www.agmgeotecnica.com.br/files/(3.14)%20COBRAMSEG%202010%20Coeficiente%20de%20Absor____o.pdf)> , acessado em 18 de junho, 2018, p. 4 - 10.

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. 2º Edição, Editora UFRGS, Porto Alegre, 2004. RESENDE A.V. Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato. Editora EMBRAPA, Planaltina, 2004.

MOTA, F.; SPERLING, M.V, M. (Coord.). **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

SPERLING, M.V. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos - Coleção Princípios do Tratamento Biológico de Água. Volume 1. 4º edição, Belo Horizonte, editora: UFMG ,2014. 470 p.

_____. Programa de pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB): Esgoto, Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. SPERLING, M.V . et al. **Impacto dos Nutrientes do Esgoto Lançado em Corpos de Água**. Editora: Finep, 2008, Cap. 2, P. 28-35.

PAULA, R. Á. de; CORREA, R. S.; COTTA, T. P. **Lixiviação de nitrato a partir de um aterro minado tratado com lodo de esgoto doméstico**. Revista Bragantia , Campinas, v. 70, n. 1,p. 104-

112,2011. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/brag/v70n1/v70n1a16.pdf> >. acesso em 12 de julho de 2018.

PINTO, C. de S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3.ed ,São Paulo:Oficina de Textos, 2006. 353 p.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Relatório do Desenvolvimento Humano 2006. Além da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água**. 2006. 421 p. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/media/01_HDR06%20frontmatter_PT_revCA.pdf>. Acesso em: 09 de Nov. 2018.

SCHNAIDER, F.;ODEBRECHT ,E. **Ensaio de Campo e Suas Aplicações à Engenharia de Fundações**. 2ª Ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2012. Pg 224.

TAIZ, L. R., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4º Edição, Editora Artmed, Porto Alegre, 2009, p. 316-331.

THOMÉ, ANTONIO; KNOP, ALEXANDRE. **Movimento de contaminantes no solo**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018, 14 p. Disponível em: < <http://cbhpf.upf.br/phocadownload/2seminario/contaminantesii.pdf>>. Acesso em: 12 de dezembro. 2018.

CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS ESTUDADOS

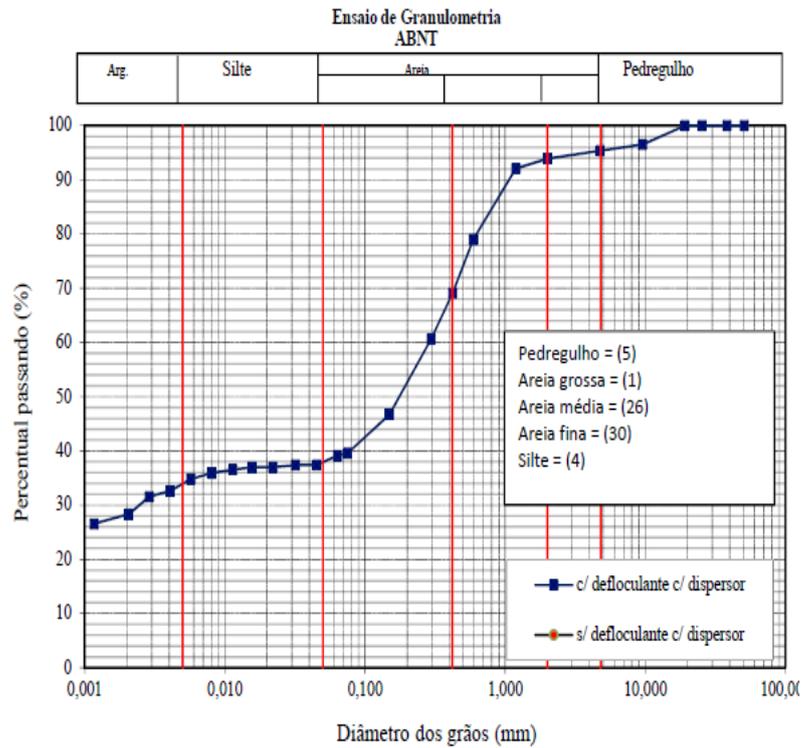


Gráfico 1 – Curva granulométrica do Furo 1 , camada 1.

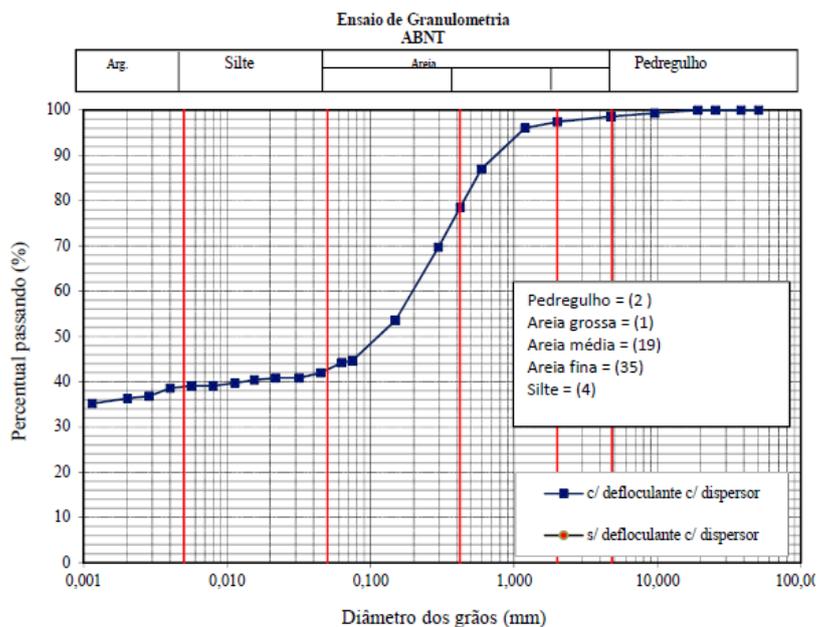


Gráfico 2 – Curva granulométrica do Furo 1 , camada 2.

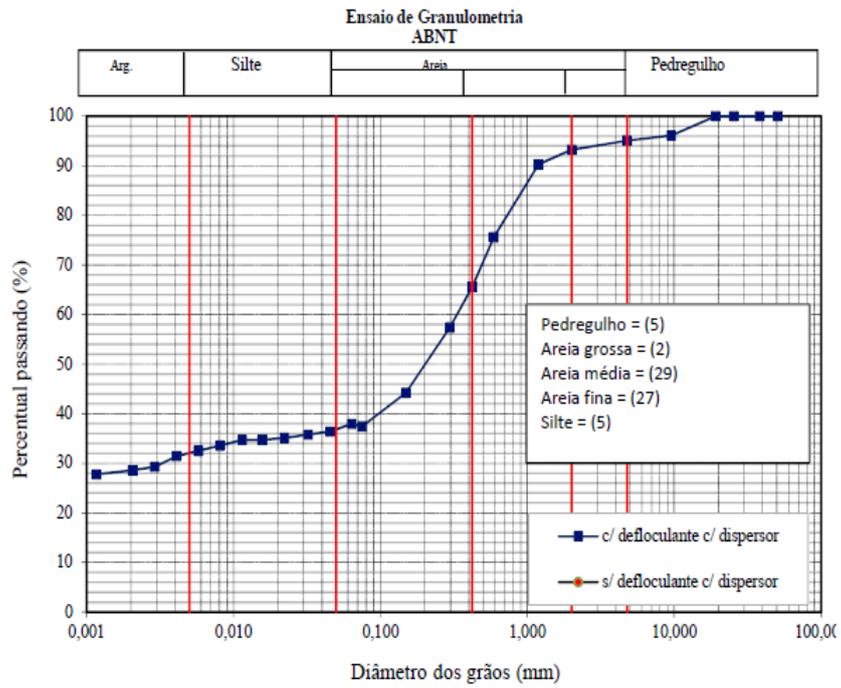


Gráfico 3 – Curva granulométrica do Furo 2 , camada 1.

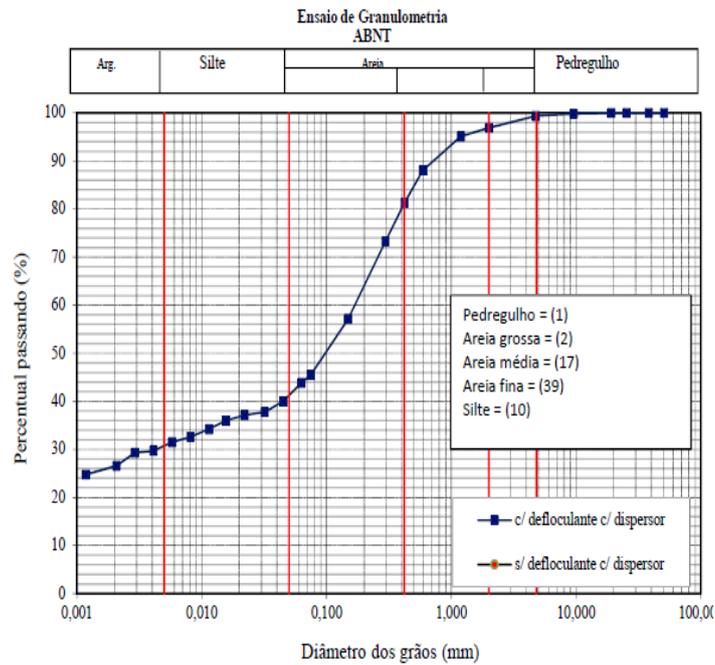


Gráfico 4 – Curva granulométrica do Furo 2 , camada 2.

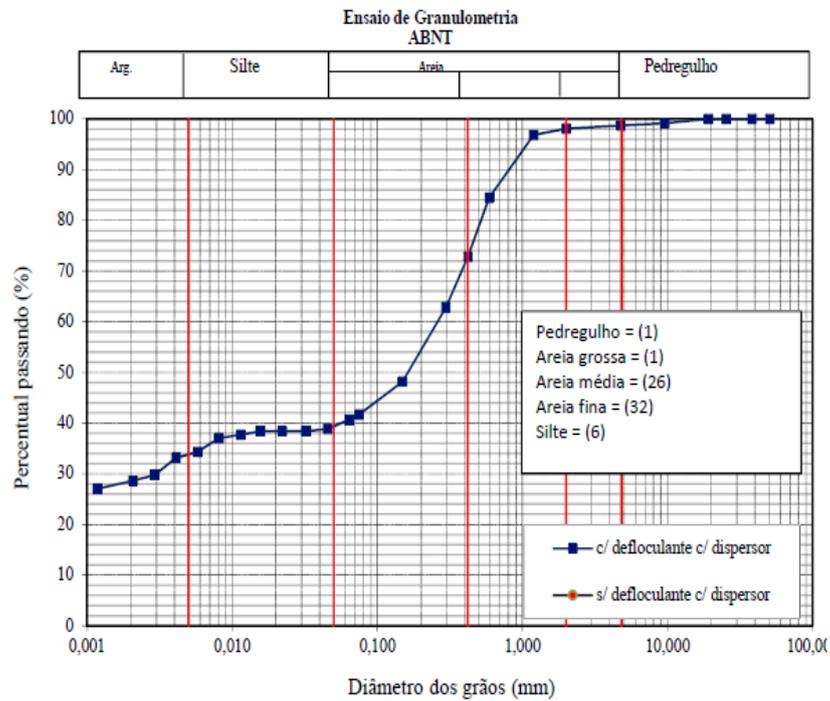


Gráfico 5 – Curva granulométrica do Furo 3 , camada 1.

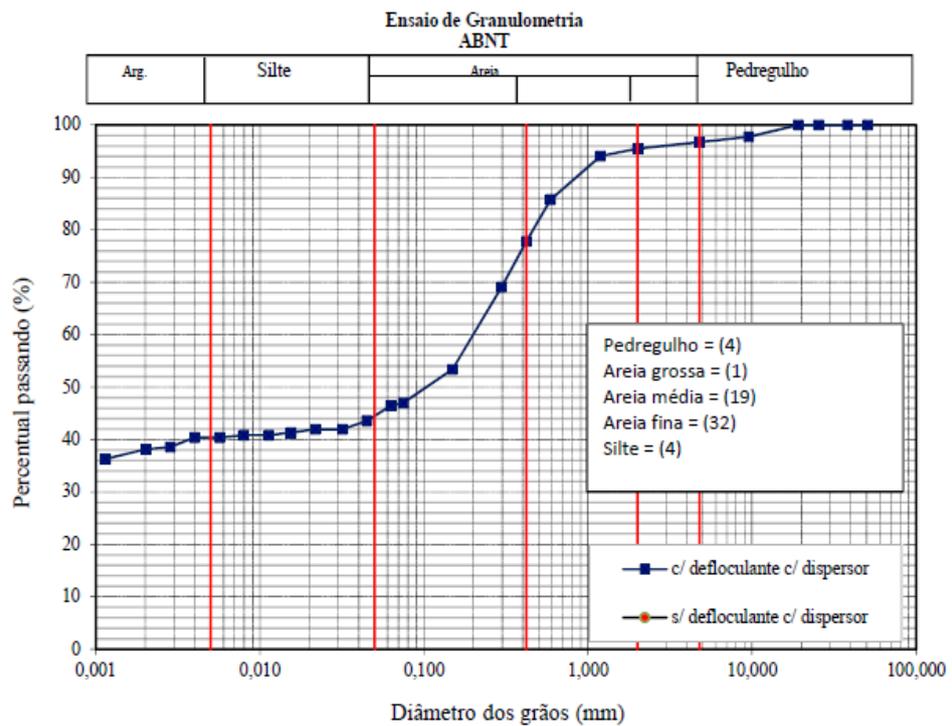


Gráfico 6 – Curva granulométrica do Furo 3 , camada 2.

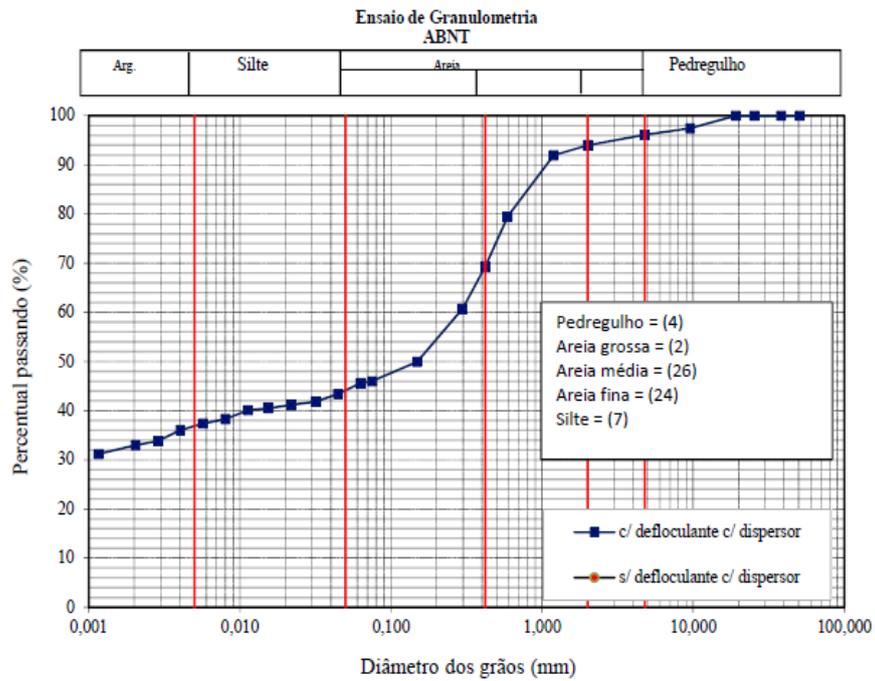


Gráfico 7 – Curva granulométrica do Furo 4 , camada 1.

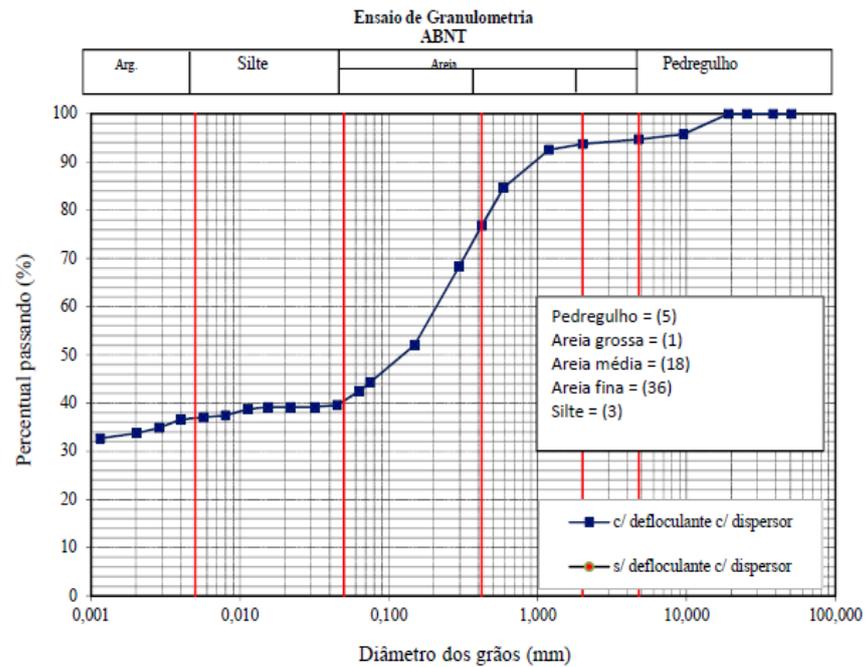


Gráfico 8 – Curva granulométrica do Furo 4 , camada 2.

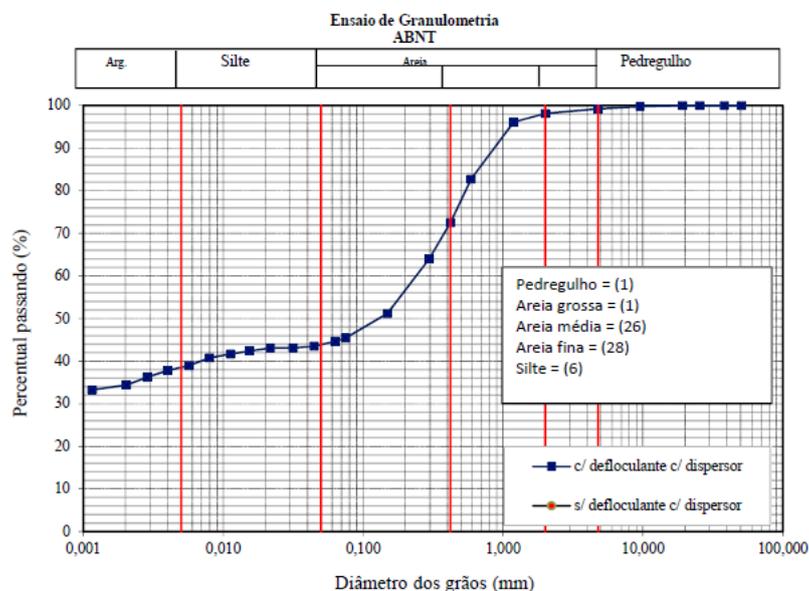


Gráfico 9 – Curva granulométrica do Furo 5 , camada 1.

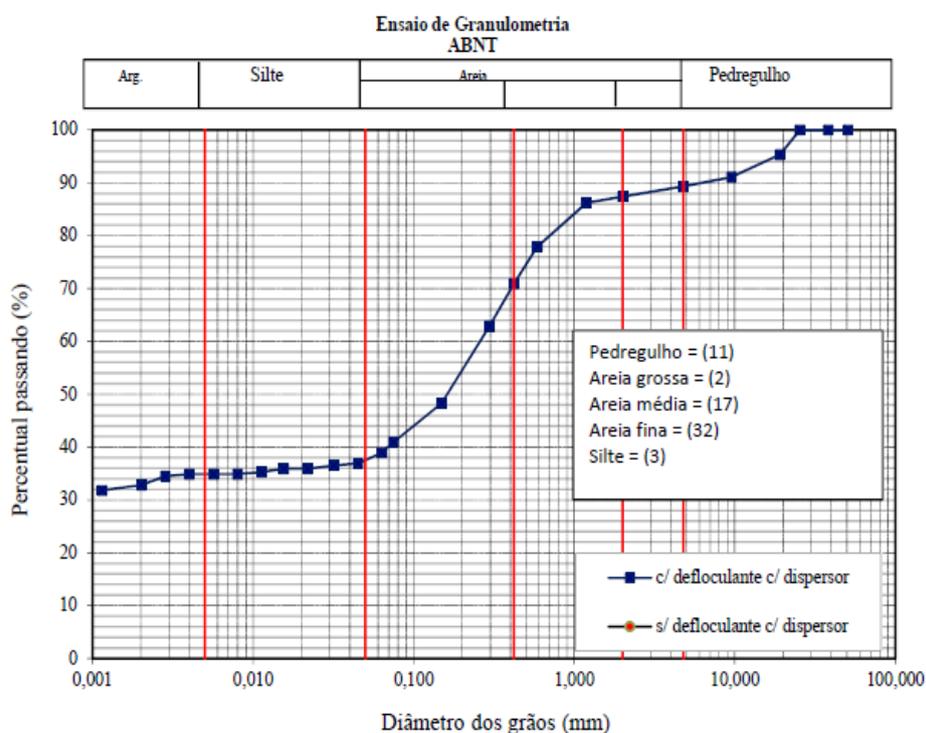


Gráfico 10 – Curva granulométrica do Furo 5 , camada 2.

Amostra		Fração Granulométrica (%)			
Ponto	Prof. (m)	Pedregulho	Areia	Silte	Argila
1.1	0,50	5	57	4	34
1.2	1,00	2	55	4	39
2.1	0,50	5	58	5	32
2.2	1,00	1	58	10	31
3.1	0,50	1	59	6	34
3.2	1,00	4	52	4	40
4.1	0,50	4	52	7	37

4.2	1,00	5	55	3	37
5.1	0,50	1	55	6	38
5.2	1,00	11	55	6	38

Tabela: Resumo das Frações granulométricas das camadas dos solo.

Amostra		Limites de Consistência dos Solos (%)				Sistema de Classificação dos solos
Ponto	Prof. (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Peso específico dos grãos (g/ m³)	Sistema Unificado de Classificação dos Solos (U.S.C)
1.1	0,50	33,04	19,9	13,14	2,638	SC (AREIA COM ARGILA)
1.2	1,00	33,15	19,71	13,44	2,638	SC (AREIA COM ARGILA)
2.1	0,50	35,02	20,86	14,16	2,634	SC (AREIA COM ARGILA)
2.2	1,00	26,97	17,15	9,82	2,645	SC (AREIA COM ARGILA)
3.1	0,50	28,73	18,06	10,67	2,624	SC (AREIA COM ARGILA)
3.2	1,00	34,62	20,48	14,14	2,634	SC (AREIA COM ARGILA)
4.1	0,50	36,17	21,7	14,47	2,634	SC (AREIA COM ARGILA)
4.2	1,00	33,2	20,92	12,28	2,641	SC (AREIA COM ARGILA)
5.1	0,50	34,21	20,53	13,68	2,641	SC (AREIA COM ARGILA)
5.2	1,00	33,82	20,62	13,2	2,641	SC (AREIA COM ARGILA)

Tabela: Limites de Atterberg e Classificação do Solo.

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DO SOLO – SISTEMA UNIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Material 1.1

		MAT
	Nº)	1.1
LIMITES DE ATTERBERG		
LL		19,90
LP		33,04
IP		13,14
GRANULOMETRIA		
1"		
3/4"		
1/2"		
3/8"		
1/4"		
Nº 4		95,37
Nº 10		93,89
Nº 20		92,14

Nº 40		69,06
Nº 60		60,67
Nº 100		46,67
Nº 200		39,60
0,05 mm		
0,005 mm		
0,002 mm		

- CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA DOS SOLOS:

1. PASSO

- $P_{200} > 50\%$ (?) ,
 - SE SIM (FINO);
 - SE NÃO (GROSSO)
- SÓ PASSOU 39,60% NA PENEIRA Nº 200, LOGO MATERIAL SOLO GROSSO.

3. PASSO

(R_4 (Retido) $> R_{200/2}$) , DONDE $(100\% - 95,37\%) = 4,63\% > 19,80\%$

- SE SIM (PEDREGULHO),
- SE NÃO (AREIA)

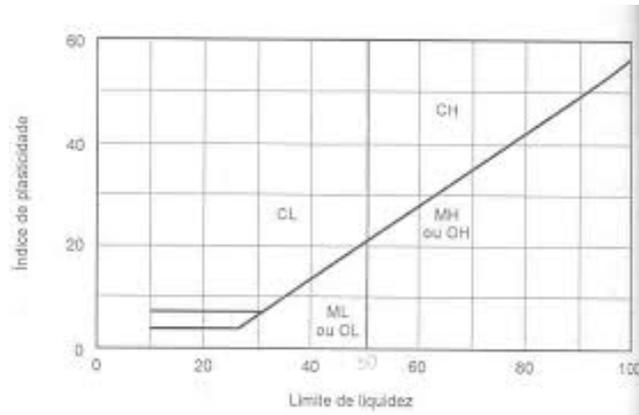
FICOU RETIDO 6,63 % NA PENEIRA Nº 4 QUE FOI MENOR DO QUE O RETIDO NA PENEIRA Nº 200/2 (19,80%).

- LOGO O MATERIAL É AREIA (S).

4. PASSO

% QUE PASSOU NA PENEIRA Nº 200 :

- SE FOR $> 12\%$ (VERIFICAR CARTA DE PLASTICIDADE - CA);
- $5\% \leq P_{200} \leq 12\%$;
- $< 5\%$ (Cc, Cu)
 - Limite de Liquidez = 19,90,
 - Limite de Plasticidade = 33,04
 - $IP = 13,14 > SC$



- Logo o Solo é considerado SC (AREIA –ARGILA).

Material 1.2

		MAT
	Nº)	1.2
LIMITES DE ATTERBERG		
LL		33,15
LP		19,71
IP		13,44
GRANULOMETRIA		
1"		
3/4"		
1/2"		
3/8"		
1/4"		
Nº 4		98,64
Nº 10		97,42
Nº 20		96,06
Nº 40		65,53
Nº 60		57,35
Nº 100		44,21
Nº 200		37,44
0,05 mm		
0,005 mm		
0,002 mm		

- CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA DOS SOLOS:

2. PASSO

- $P_{200} > 50\%$ (?) ,

- SE SIM (FINO);
- SE NÃO (GROSSO)

SÓ PASSOU 37,44% NA PENEIRA Nº 200, LOGO MATERIAL SOLO GROSSO.

5. PASSO

$(R4(\text{Retido}) > R200/2)$, DONDE $1,36\% > 22,35\%$

- SE SIM (PEDREGULHO),
- SE NÃO (AREIA)

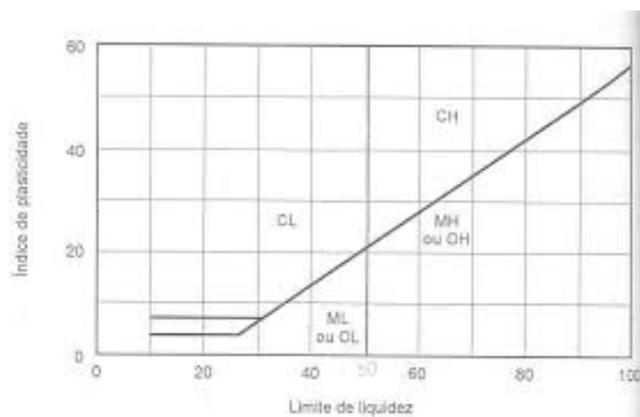
FICOU RETIDO 1,36 % NA PENEIRA Nº 4 QUE FOI MAIOR DO QUE O RETIDO NA PENEIRA Nº 200/2 (22,35%).

- LOGO O MATERIAL É AREIA (S).

6. PASSO

% QUE PASSOU NA PENEIRA Nº 200 :

- SE FOR $> 12\%$ (VERIFICAR CARTA DE PLASTICIDADE - CA);
- $5\% \leq P200 \leq 12\%$;
- $< 5\%$ (Cc, Cu)
 - Limite de Liquidez = 33,15;
 - Limite de Plasticidade = 19,71;
 - $IP = 13,44 > SC$



- Logo o Solo é considerado SC (AREIA –ARGILA).

Material 2.1

		MAT
	Nº)	2.1

LIMITES DE ATTERBERG		
LL		26,97
LP		17,15
IP		9,82
GRANULOMETRIA		
1"		
3/4"		
1/2"		
3/8"		
1/4"		
Nº 4		99,36
Nº 10		96,90
Nº 20		95,12
Nº 40		81,25
Nº 60		73,28
Nº 100		57,16
Nº 200		45,53
0,05 mm		
0,005 mm		
0,002 mm		

- CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA DOS SOLOS:

3. PASSO

- $P_{200} > 50\%$ (?) ,
- SE SIM (FINO);
- SE NÃO (GROSSO)

SÓ PASSOU 45,53% NA PENEIRA Nº 200, LOGO MATERIAL SOLO GROSSO.

7. PASSO

$(R_4 \text{ (Retido)} > R_{200/2})$, DONDE $(100\% - 99,36\%) = 0,64\% > 22,76\%$

- SE SIM (PEDREGULHO),
- SE NÃO (AREIA)

FICOU RETIDO 0,64 % NA PENEIRA Nº 4 QUE FOI MENOR DO QUE O RETIDO NA PENEIRA Nº 200/2 (22,76%).

- LOGO O MATERIAL É AREIA (S).

8. PASSO

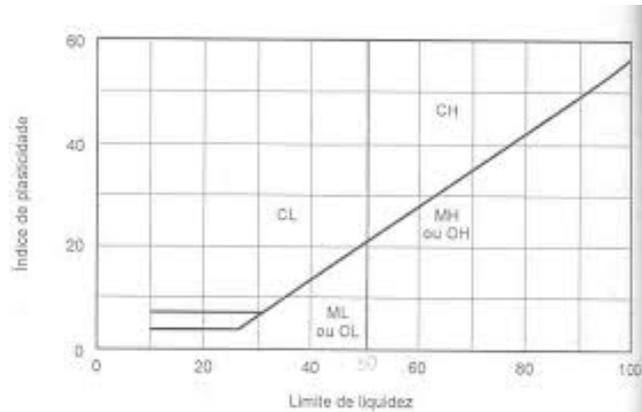
% QUE PASSOU NA PENEIRA Nº 200 :

- SE FOR > 12% (VERIFICAR CARTA DE PLASTICIDADE - CA);
- $5\% \leq P_{200} \leq 12\%$;
- <5% (Cc, Cu)

Limite de Liquidez = 20,86,

Limite de Plasticidade = 35,02

IP= 14,16 > SC



- Logo o Solo é considerado SC (AREIA –ARGILA).

Material 2.2

		MAT
	Nº)	2.2
LIMITES DE ATTERBERG		
LL		20,86
LP		35,02
IP		14,16
GRANULOMETRIA		
1"		
3/4"		
1/2"		
3/8"		
1/4"		
Nº 4		95,07
Nº 10		93,26
Nº 20		90,32
Nº 40		65,53
Nº 60		57,35
Nº 100		44,21
Nº 200		37,44
0,05 mm		
0,005 mm		
0,002 mm		

CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA DOS SOLOS:

4. PASSO

- $P_{200} > 50\%$ (?) ,
 - SE SIM (FINO);
 - SE NÃO (GROSSO)

SÓ PASSOU 39,60% NA PENEIRA Nº 200, LOGO MATERIAL SOLO GROSSO.

9. PASSO

$(R_4 \text{ (Retido)} > R_{200/2})$, DONDE $(100\% - 95,07\%) = 4,93\% > 18,72\%$

- SE SIM (PEDREGULHO),
- SE NÃO (AREIA)

FICOU RETIDO 4,93 % NA PENEIRA Nº 4 QUE FOI MENOR DO QUE O RETIDO NA PENEIRA Nº 200/2 (18,72%).

- LOGO O MATERIAL É AREIA (S).

10. PASSO

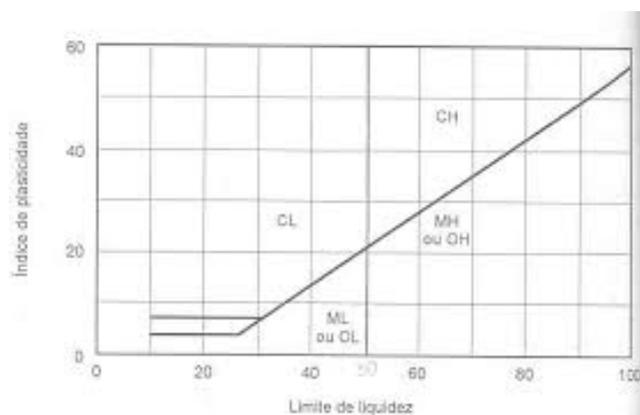
% QUE PASSOU NA PENEIRA Nº 200 :

- SE FOR $> 12\%$ (VERIFICAR CARTA DE PLASTICIDADE - CA);
- $5\% \leq P_{200} \leq 12\%$;
- $< 5\%$ (Cc, Cu)

Limite de Liquidez = 20,86,

Limite de Plasticidade = 35,02

IP= 14,16 $>$ SC



- Logo o Solo é considerado SC (AREIA –ARGILA).

Material 3.1

		MAT
	Nº)	3.1
LIMITES DE ATTERBERG		
LL		28,73
LP		18,06
IP		10,67
GRANULOMETRIA		
1"		
3/4"		
1/2"		
3/8"		
1/4"		
Nº 4		98,74
Nº 10		98,06
Nº 20		96,82
Nº 40		72,82
Nº 60		62,85
Nº 100		48,19
Nº 200		41,68
0,05 mm		
0,005 mm		
0,002 mm		

CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA DOS SOLOS:

5. PASSO

- $P_{200} > 50\%$ (?) ,
 - SE SIM (FINO);
 - SE NÃO (GROSSO)

SÓ PASSOU 41,68% NA PENEIRA Nº 200, LOGO MATERIAL SOLO GROSSO.

11. PASSO

$(R_4 \text{ (Retido)} > R_{200/2})$, DONDE $(100\% - 98,74\%) = 1,26\% > 20,84\%$

- SE SIM (PEDREGULHO),
- SE NÃO (AREIA)

FICOU RETIDO 1,26 % NA PENEIRA Nº 4 QUE FOI MENOR DO QUE O RETIDO NA PENEIRA Nº 200/2 (20,84%).

- LOGO O MATERIAL É AREIA (S).

12. PASSO

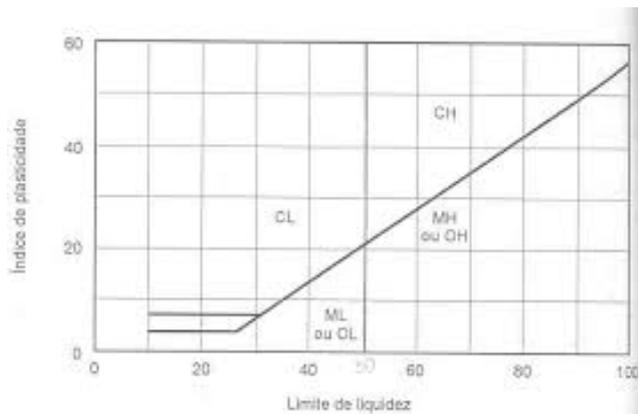
% QUE PASSOU NA PENEIRA Nº 200 :

- SE FOR > 12% (VERIFICAR CARTA DE PLASTICIDADE - CA);
- $5\% \leq P_{200} \leq 12\%$;
- <5% (Cc, Cu)

Limite de Liquidez = 28,73;

Limite de Plasticidade = 18,06

IP= 10,67 > SC



- Logo o Solo é considerado SC (AREIA –ARGILA).

Material 3.2

		MAT
	Nº)	3.2
LIMITES DE ATTERBERG		
LL		34,62
LP		20,48
IP		14,14
GRANULOMETRIA		
1"		
3/4"		
1/2"		
3/8"		
1/4"		
Nº 4		96,76
Nº 10		95,52
Nº 20		94,12
Nº 40		77,78
Nº 60		69,09
Nº 100		53,41

Nº 200		47,03
0,05 mm		
0,005 mm		
0,002 mm		

CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA DOS SOLOS:

1. PASSO

- $P_{200} > 50\%$ (?) ,
- SE SIM (FINO);
- SE NÃO (GROSSO)

SÓ PASSOU 47,03% NA PENEIRA Nº 200, LOGO MATERIAL SOLO GROSSO.

13. PASSO

(R_4 (Retido) > $R_{200/2}$) , DONDE $(100\% - 96,76\%) = 3,24\% > 23,51\%$

- SE SIM (PEDREGULHO),
- SE NÃO (AREIA)

FICOU RETIDO 3,24 % NA PENEIRA Nº 4 QUE FOI MENOR DO QUE O RETIDO NA PENEIRA Nº 200/2 (23,51%).

- LOGO O MATERIAL É AREIA (S).

14. PASSO

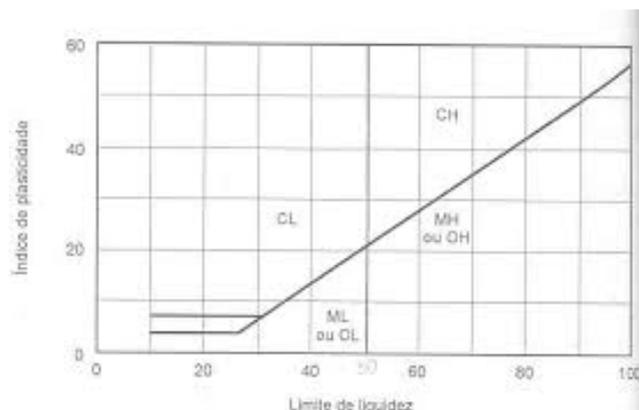
% QUE PASSOU NA PENEIRA Nº 200 :

- SE FOR $> 12\%$ (VERIFICAR CARTA DE PLASTICIDADE - CA);
- $5\% \leq P_{200} \leq 12\%$;
- $< 5\%$ (Cc, Cu)

Limite de Liquidez = 34,62;

Limite de Plasticidade = 20,48

IP= 14,14 > SC



- Logo o Solo é considerado SC (AREIA –ARGILA).

Material 4.1

		MAT
	Nº)	4.1
LIMITES DE ATTERBERG		
LL		36,17
LP		21,70
IP		14,47
GRANULOMETRIA		
1"		
3/4"		
1/2"		
3/8"		
1/4"		
Nº 4		96,10
Nº 10		93,98
Nº 20		91,94
Nº 40		69,37
Nº 60		60,71
Nº 100		49,98
Nº 200		45,99
0,05 mm		
0,005 mm		
0,002 mm		

CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA DOS SOLOS:

1. PASSO

- $P_{200} > 50\%$ (?) ,
 - SE SIM (FINO);
 - SE NÃO (GROSSO)

SÓ PASSOU 45,99% NA PENEIRA Nº 200, LOGO MATERIAL SOLO GROSSO.

2. PASSO

(R_4 (Retido) $>$ $R_{200/2}$) , DONDE $(100\% - 96,10\%) = 3,90\% > 22,99\%$

- SE SIM (PEDREGULHO),
- SE NÃO (AREIA)

FICOU RETIDO 3,90 % NA PENEIRA Nº 4 QUE FOI MENOR DO QUE O RETIDO NA PENEIRA Nº 200/2 (22,99%).

- LOGO O MATERIAL É AREIA (S).

3. PASSO

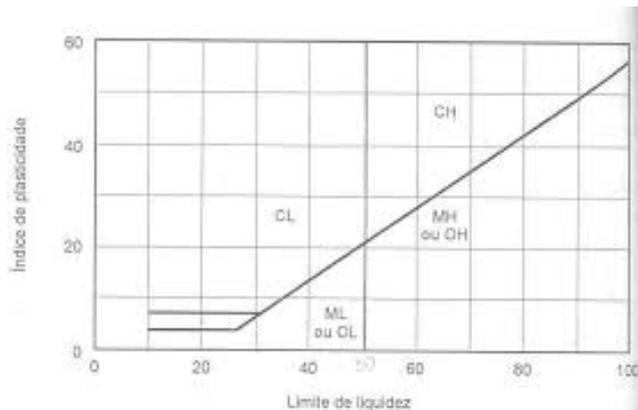
% QUE PASSOU NA PENEIRA Nº 200 :

- SE FOR > 12% (VERIFICAR CARTA DE PLASTICIDADE - CA);
- $5\% \leq P_{200} \leq 12\%$;
- <5% (Cc, Cu)

Limite de Liquidez = 36,17;

Limite de Plasticidade = 21,70

IP= 14,47 > SC



- Logo o Solo é considerado SC (AREIA –ARGILA).

Material 4.2

		MAT
	Nº)	4.2
LIMITES DE ATTERBERG		
LL		33,20
LP		20,92
IP		12,28
GRANULOMETRIA		
1"		
3/4"		
1/2"		
3/8"		
1/4"		
Nº 4		94,71
Nº 10		93,71
Nº 20		92,56
Nº 40		76,81
Nº 60		68,32
Nº 100		52,06

Nº 200		44,26
0,05 mm		
0,005 mm		
0,002 mm		

CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA DOS SOLOS:

4. PASSO

- $P_{200} > 50\%$ (?) ,
- SE SIM (FINO);
- SE NÃO (GROSSO)

SÓ PASSOU 44,26% NA PENEIRA Nº 200, LOGO MATERIAL SOLO GROSSO.

5. PASSO

(R_4 (Retido) $> R_{200/2}$) , DONDE $(100\% - 94,71\%) = 5,29\% > 22,13\%$

- SE SIM (PEDREGULHO),
- SE NÃO (AREIA)

FICOU RETIDO 5,29 % NA PENEIRA Nº 4 QUE FOI MENOR DO QUE O RETIDO NA PENEIRA Nº 200/2 (22,13%).

- LOGO O MATERIAL É AREIA (S).

6. PASSO

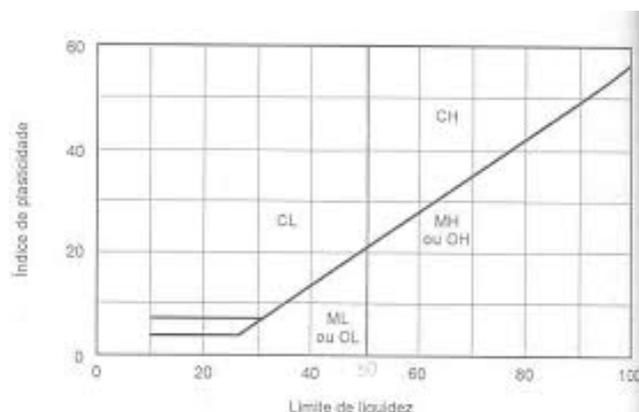
% QUE PASSOU NA PENEIRA Nº 200 :

- SE FOR $> 12\%$ (VERIFICAR CARTA DE PLASTICIDADE - CA);
- $5\% \leq P_{200} \leq 12\%$;
- $< 5\%$ (Cc, Cu)

Limite de Liquidez = 33,20;

Limite de Plasticidade = 20,92

IP= 12,28 $>$ SC



- Logo o Solo é considerado SC (AREIA –ARGILA).

Material 5.1

		MAT
	Nº)	5.1
LIMITES DE ATTERBERG		
LL		34,21
LP		20,53
IP		13,68
GRANULOMETRIA		
1"		
3/4"		
1/2"		
3/8"		
1/4"		
Nº 4		99,23
Nº 10		98,16
Nº 20		96,13
Nº 40		72,52
Nº 60		64,04
Nº 100		51,19
Nº 200		45,46
0,05 mm		
0,005 mm		
0,002 mm		

CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA DOS SOLOS:

7. PASSO

- $P_{200} > 50\%$ (?),
 - SE SIM (FINO);
 - SE NÃO (GROSSO)

SÓ PASSOU 45,46% NA PENEIRA Nº 200, LOGO MATERIAL SOLO GROSSO.

8. PASSO

$(R_4 \text{ (Retido)} > R_{200/2})$, DONDE $(100\% - 99,23\%) = 0,77\% > 22,73\%$

- SE SIM (PEDREGULHO),
- SE NÃO (AREIA)

FICOU RETIDO 0,77% NA PENEIRA Nº 4 QUE FOI MENOR DO QUE O RETIDO NA PENEIRA Nº 200/2 (22,73%).

- LOGO O MATERIAL É AREIA (S).

9. PASSO

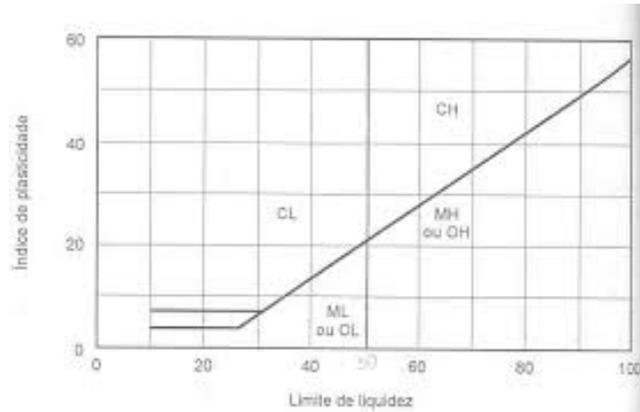
% QUE PASSOU NA PENEIRA Nº 200 :

- SE FOR > 12% (VERIFICAR CARTA DE PLASTICIDADE - CA);
- $5\% \leq P_{200} \leq 12\%$;
- <5% (Cc, Cu)

Limite de Liquidez = 34,21;

Limite de Plasticidade = 20,53

IP= 13,68 > SC



- Logo o Solo é considerado SC (AREIA – ARGILA).

Material 5.2

		MAT
	Nº)	5.1
LIMITES DE ATTERBERG		
LL		33,82
LP		20,62
IP		13,20
GRANULOMETRIA		
1"		
3/4"		
1/2"		
3/8"		
1/4"		
Nº 4		89,31
Nº 10		87,37
Nº 20		86,22
Nº 40		70,91
Nº 60		62,92
Nº 100		48,30
Nº 200		40,92
0,05 mm		
0,005 mm		
0,002 mm		

CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA DOS SOLOS:

10. PASSO

- $P_{200} > 50\%$ (?) ,
 - SE SIM (FINO);
 - SE NÃO (GROSSO)

SÓ PASSOU 40,92% NA PENEIRA Nº 200, LOGO MATERIAL SOLO GROSSO.

11. PASSO

$(R_4 (\text{Retido}) > R_{200/2})$, DONDE $(100\% - 89,31\%) = 10,69\% > 20,16\%$

- SE SIM (PEDREGULHO),
- SE NÃO (AREIA)

FICOU RETIDO 10,69 % NA PENEIRA Nº 4 QUE FOI MENOR DO QUE O RETIDO NA PENEIRA Nº 200/2 (20,16%).

- LOGO O MATERIAL É AREIA (S).

12. PASSO

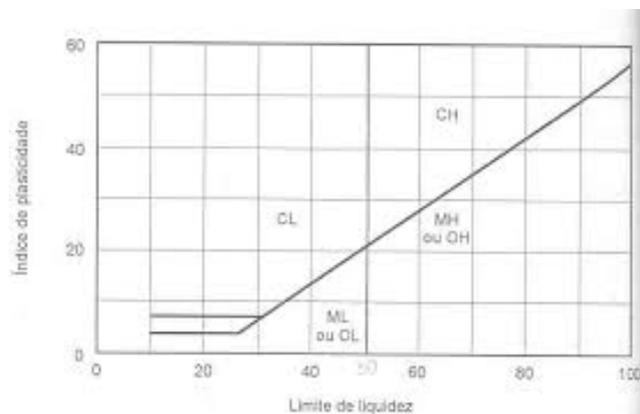
% QUE PASSOU NA PENEIRA Nº 200 :

- SE FOR $> 12\%$ (VERIFICAR CARTA DE PLASTICIDADE - CA);
- $5\% \leq P_{200} \leq 12\%$;
- $< 5\%$ (Cc, Cu)

Limite de Liquidez = 33,82;

Limite de Plasticidade = 20,62

IP= 13,20 > SC



- Logo o Solo é considerado SC (AREIA –ARGILA).

SOBRE OS AUTORES

JOSÉ MESSIAS RIBEIRO JÚNIOR - Licenciado em Geografia (2005) pela Universidade Federal de Pernambuco, Técnico em Edificações (2005) pelo Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET - PE) e Bacharel em Engenharia Civil (2011) pela Escola Politécnica de Pernambuco (UPE). Pós Graduação Lato Sensu em ENGENHARIA AMBIENTAL E INDICADORES DE QUALIDADE (UCAM) em 2017, Mestre em Tecnologia Ambiental em tecnologia ambiental 2018 pelo Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP) 2018, Docente do Instituto federal e educação, ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE- Campus Recife), Membro do comitê técnico científico da Editora Atenas (2019). Áreas de atuação, Geotecnia ambiental, topografia, meio ambiente, pavimentação. Autor de Capítulo de Livro viabilidade técnico, financeira e ambiental entre pavimento Intertravados e CBUQ em loteamento residências (2019).

EDUARDO ANTONIO MAIA LINS - O pesquisador possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco (2000). Especialista em Gestão Ambiental pela Universidade de Pernambuco (2012), tendo obtido os títulos de Mestre (2003) e Doutor (2011) nos anos anteriores pela Universidade Federal de Pernambuco onde se especializou em Geotecnia Ambiental. Atualmente é Professor do Instituto Federal de Pernambuco (Campus Recife), onde coordena o Grupo de Poluição e Contaminação Ambiental do IFPE, lotado no departamento de Saneamento. Também leciona na Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP) no departamento de Engenharia Ambiental, Química, Ciências Biológicas e Civil. Professor colaborador do Mestrado do Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP) na área de gestão de resíduos sólidos e contaminação ambiental.

JEANE ÉMILI DE MEDEIROS - Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2004), mestrado em Fitossanidade pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2007) e doutorado em Fitopatologia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2011). Atualmente é docente do INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO (Campus Recife). Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Agronomia, atuando principalmente nos seguintes temas: nematoide das galhas, cana-de-açúcar, meloidogyne, resíduos e fitonematóides.

DANIELE DE CASTRO PESSOA DE MELO - Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Católica de Pernambuco (2005), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco (2008), doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco (2012) e Pós-doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco (2014). Professora do Mestrado em Tecnologia Ambiental do Instituto de Tecnologia de Pernambuco - ITEP. Professora da Escola de Engenharia da Faculdade Ibratec. Professora da Pós-graduação em Gestão e Controle de Áreas Contaminadas por Resíduos Sólidos da Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP). Pesquisadora do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Gerente de Fiscalização do CREA-PE. Fez parte dos Grupos de Pesquisa: Desenvolvimento de Processos e Novos Materiais (Universidade Católica de Pernambuco) e Grupo de Estudo do Gesso (UFPE). Especialista em Elaboração de Projetos, Gerenciamento de Indicadores e Gestão de Pessoas. Tem experiência nas áreas de Processos Químicos e Bioquímicos inseridos nas linhas de Desenvolvimento e Modelagem de Reatores Polifásicos e Processos Físicos e Químicos de Valorização do Rejeito. Atuando, principalmente nos seguintes temas:

gesso beta reciclável, forno rotativo piloto, parâmetros cinéticos, otimização de processos, gás natural, petróleo e meio ambiente.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-550-1

