

ESTUDO SÔBRE O EMPRÊGO DE FOSSAS SÉPTICAS

ENG.º ATAULPHO COUTINHO (*)

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento demográfico do Brasil nas três últimas décadas, de acordo com os resultados dos recenseamentos gerais de 1940, 1950 e 1960, revela uma tendência acentuada de urbanização. O soerguimento das grandes áreas industriais do país proporcionando uma demanda cada vez maior de mão de obra de todos os tipos, estimularam movimentos migratórios internos, com deslocamento de populações rurais para os centros urbanos. Tais deslocamentos foram facilitados pelo progresso simultâneo do sistema rodoviário nacional que hoje permite o transporte de passageiros e mercadorias em rodovias pavimentadas, de norte a sul e de leste a oeste do território brasileiro.

Os problemas da vida nas cidades foram assim consideravelmente agravados, não só com o adensamento verificado nas áreas tipicamente urbanas, como pela considerável expansão das zonas periféricas suburbanas, dando lugar ao metropolitanismo. (40)

A composição populacional brasileira tem entretanto, características rurais, com percentuais sobre o total bruto, ainda em torno

de 50% e o homem do campo, de um modo geral, com o seu «statu quo» estacionário, e de certo modo, até agravado.

A esse quadro se superpõe um outro, que revela o estado da saúde coletiva à luz do seu moderno conceito, isto é, de um estado de completo bem estar físico, mental e social e não apenas de ausência de doença, como até bem pouco tempo se a definia.

A análise desse complexo problema em relação ao Brasil, mostra um panorama desfavorável, pois as mortes prematuras são elevadas e com grande variação geográfica em todo território nacional, traduzindo-se em baixos índices de vida média ou de longevidade, em confronto com os países mais adiantados do mundo.

Araujo Morais (88), um dos mais abalizados estudiosos do assunto, explica que esses baixos índices, sobretudo nas idades de menos de 20 anos, se devem a prevenção insuficiente das mortes prematuras causadas pelas doenças transmissíveis e que os meios já disponíveis pela ciência médico sanitária, não foram entre nós bem aproveitados. A luta contra as doenças transmissíveis, diz aquele sanitarista, seja por métodos específicos, seja pela melhora das características físicas e sociais, ainda merece no Brasil a mais alta prioridade em qualquer plano de atividades médico-sanitárias, usando recursos que lograram espetacular sucesso em numerosos países. E, destacando: a melhora das condições de saúde da população brasileira dependerá da

(*) Tese apresentada à Escola Nacional de Engenharia da Universidade do Brasil para o Concurso de Livre Docência da Cadeira XVI, «Higiene Geral — Higiene Industrial e dos Edifícios, Saneamento e Traçado das Cidades» — Rio de Janeiro, janeiro de 1966.

escala com que lhe forem fornecidos recursos de assistência médica, de **saneamento básico (abastecimento de água e remoção de dejetos)**, de profilaxia das doenças transmissíveis e de educação de base, sobretudo do ensino de grau elementar e médio.

O saneamento básico, isto é, o abastecimento de água e a remoção dos dejetos ocupa portanto, no trabalho de combate à morte prematura, ou à doença, no Brasil, posição prioritária. E de tal sorte se reconheceu a importância desse trabalho, válido para toda a América Latina, que a Carta de Punta del Este fixou como meta para a década de 1960-1970, um aumento de 5 anos na vida média, pelo atendimento de 70% das populações urbanas e 50% dos habitantes das zonas rurais, com serviços de água e esgotos sanitários.

A engenharia sanitária é pois, convocada para resolver rapidamente, os complicados problemas relacionados com o abastecimento de água e os esgotos sanitários dos centros urbanos, porque eles servem a um maior número de pessoas em menor tempo, mas sem descuidar-se paralelamente do atendimento às necessidades do meio rural.

Todas as razões esboçadas, tanto as de ordem demográfica como as de saúde coletiva, têm aconselhado o aprimoramento de técnicas conhecidas e o completo reexame de outras mais ou menos tradicionais da engenharia sanitária. De fato, enquanto as questões do meio urbano têm marchado dia a dia, para melhor equacionamento, as de saneamento rural, que são a solução parcial para a fixação do homem à terra, se têm continuado, pelas suas diversas e peculiares implicações, em constante preocupação dos técnicos.

Segundo Lumsden ⁽⁹⁶⁾, 75% dos problemas de saneamento rural são relacionados à remoção de dejetos, isto é, aos métodos de tratamento e destino dos esgotos da habitação, a fim de evitar-se a contaminação da superfície do solo e das águas e conseqüentemente, a propagação de doenças, dentre as quais se podem citar as verminoses, as gastroenterites e a febre tifóide.

Nesse sentido, o sistema de fossas sépticas com todas as unidades que o compõe, tem despertado, nos últimos anos, a atenção dos sanitaristas em todo o mundo e requerido grandes so-

mas em dinheiro para investigações e pesquisas, visando a corrigir as suas imperfeições e a racionalizar o seu dimensionamento e utilização.

No presente trabalho se pretende exatamente, apresentar de modo simples e didático, alguns aspectos desse problema, que se constitui em um tema útil e de grande interesse imediato para estudantes e engenheiros e de atualidade para o Brasil.

1. FOSSAS SEPTICAS — CONCEITOS BÁSICOS

O problema dos esgotos das habitações dotadas de instalações hidráulicas e sanitárias e situadas no meio rural ou em áreas periféricas dos centros urbanos, deve ser resolvido atendendo a condições básicas de **utilidade e simplicidade**. ⁽¹²¹⁾

O primeiro objetivo é alcançado proporcionando-se **no local**, um **sistema** seguro de tratamento e destino dos esgotos, isto é, um sistema que garanta os requisitos higiênicos, ou de prevenção à poluição da água, do solo e dos alimentos, e estéticos, ou de proteção ao decoro e ao pudor, bem como aos sentidos da visão e do olfato.

O segundo objetivo consegue-se pela observância de mínimos requisitos construtivos, de operação e de manutenção, associados a custos razoáveis das obras e serviços e eventualmente, da possibilidade econômica de aproveitamento dos materiais resultantes do tratamento para fins diversos.

As reduzidas vazões de esgoto das habitações do tipo que se está lidando, associadas à forma pronta como reage o esgoto doméstico ao tratamento, são dois fatores propícios ao preenchimento dos requisitos acima referidos.

1.1 Descrição do sistema

O sistema de tratamento e destino dos esgotos das habitações em causa, compõe-se geralmente de uma unidade denominada **fossa séptica**

* O significado dos vocábulos da expressão «fossa séptica», cujo emprego consagrado no Brasil, se origina do francês «fosse septique», é: fossa — cova, cavidade subterrânea para onde se despejam imundícios; séptico — do grego «séptikas», putrefato.

ca * e de dispositivos diversos para destino seguro do líquido efluente.

A **fossa séptica** é um recipiente, no qual o esgoto que o atravessa horizontalmente é sujeito a um estágio primário de tratamento, consistindo de separação da matéria sólida sedimentável, e decomposição por ação bacteriana anaeróbia, do lodo decantado.

Na fossa séptica o esgoto influente está em direto contato com o lodo em processo de digestão, e também com as matérias leves ou escumas, que flutuam na superfície líquida, distinguindo-se, portanto, três zonas, Fig. 1.1, no seu interior: (135)

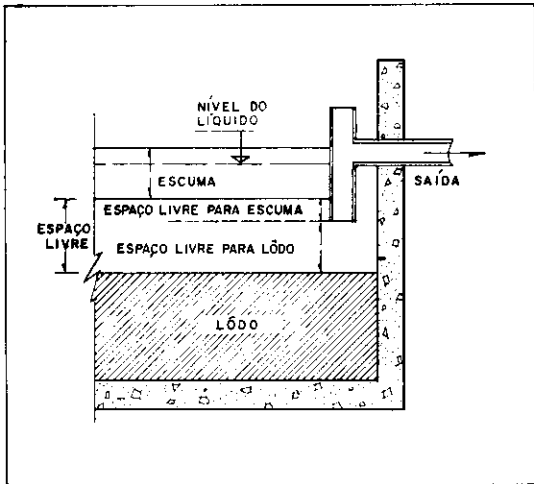


Fig. 1.1 — Zonas da fossa séptica.

- Zona livre**, compreendida entre o topo da camada de lodo sedimentado e a superfície inferior da espuma flutuante e pela qual passa o líquido influente;
- Zona de sólidos** ou lodo sedimentado, onde se verifica a digestão da matéria orgânica e a acumulação dos materiais resultantes deste processo de tratamento;

- Zona de espuma**, constituída pela camada de espuma flutuante, cujo volume acumulado normalmente, ultrapassa a superfície livre do líquido.

1.2 Funções da fossa séptica

As funções da fossa séptica são de três naturezas, a saber:

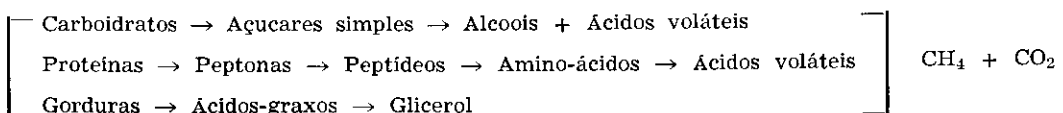
1.ª) Remoção hidráulica dos sólidos sedimentáveis e flutuantes; consegue-se este objetivo pelo controle do poder de carreamento da água, construindo-se a fossa de modo a permitir a redução brusca da velocidade de escoamento do líquido influente na zona livre; por ação da gravidade, os sólidos pesados serão sedimentados e os leves flutuarão na superfície líquida.

2.ª) Tratamento biológico dos lodos frescos sedimentados pela ação de bactérias anaeróbias, isto é, de organismos cujo desenvolvimento se dá na ausência de oxigênio livre.

A composição média do lodo, que se constitui em uma massa semi-fluída de sólidos sedimentados no fundo da fossa, é a seguinte: (4)

- Carboidratos, isto é, celulose, amido, polissacarídeos, em quantidade que atinge a cerca de 30% em peso, a seco;
- Proteínas, isto é, materiais nitrogenados, que também alcançam cerca de 30% em peso, a seco;
- Gorduras, isto é, graxas, óleos minerais e vegetais, sabões, etc., e que vão a 40% em peso, a seco.

Na presença de microorganismos e ausência de oxigênio, esses constituintes orgânicos, carboidratos, proteínas e gorduras, são transformados em produtos intermediários, tais como alcoóis, ácidos voláteis, indol, escatol, mercaptans, que por sua vez, passam a NH_3 e H_2S , e por fim a CH_4 e CO_2 . O processo pode assim resumir-se: (4)



Verifica-se pois, que como produtos da decomposição anaeróbia parcial da matéria orgânica sedimentada, obtém-se líquidos (resultantes da **liquefação**); gases (provenientes da **gazeificação**) e substâncias mineralizadas. A componente líquida mistura-se ao esgoto afluyente na zona livre e passa a efluente da fossa; a componente gasosa é conduzida para a atmosfera, por dispositivos apropriados e por fim, a componente sólida insolúvel estabilizada, é retida no fundo do recipiente, na zona de lodo, para posterior remoção e destino, em intervalos de tempo adequados.

3.ª) Armazenamento das matérias sedimentadas e mineralizadas e flutuantes, nas zonas de lodo e de espuma, que não só permite condições favoráveis ao processo de tratamento, como assegura facilidades de operação e manutenção da fossa.

1.3 Fatores condicionantes de tratamento

Os processos em jogo para o tratamento do esgoto na fossa séptica são dependentes de dois fatores condicionantes primordiais:

1.º) A natureza do fluxo, cuja característica distintiva é a variabilidade, isto é, bastante irregular durante o dia e às vezes, completamente interrompido à noite, proporcionando as chamadas vazões de choque, capazes de ocasionar considerável perturbação na zona de lodo e no processo de sedimentação dos sólidos em suspensão. As vazões máximas podem alcançar até 50 vezes a vazão média, em virtude das contribuições elevadas de esgoto por períodos curtos, como no caso das descargas de banheiros, tanques de lavar roupa, etc.

2.º) A natureza do esgoto, que em virtude da proximidade da fossa às instalações sanitárias da habitação, é peculiar: apresenta-se sempre fresco, com os sólidos não desintegrados e inclui despejos de todos os aparelhos sanitários de utilização. Suas características podem ainda variar de acordo com a qualidade da água consumida na habitação, o padrão de vida, os hábitos, inclusive alimentares, e o sexo dos seus moradores e o número e tipo dos aparelhos sanitários dos banheiros, cozinha e áreas

de serviço, ligados à fossa. Para determinação dos valores de sólidos totais e demanda bioquímica de oxigênio (DBO de 5 dias, 20°C) do esgoto afluyente à fossa, há dificuldade para obtenção de amostras compostas representativas, em virtude do caráter não cominuído dos sólidos em suspensão. (118)

1.4 Natureza do efluente da fossa séptica

O efluente das fossas sépticas, sob as condições mais favoráveis de funcionamento, não difere muito do esgoto normalmente decantado, relativamente ao seu teor de matéria orgânica dissolvida e em estado coloidal. O líquido apresenta ligeira turbidez e demanda bioquímica de oxigênio (DBO de 5 dias, 20°C) relativamente baixa; é entretanto, característico pelo seu odor putrido, que é resultante dos processos de tratamento em jogo e dos diversos fatores que lhe são interferentes, favoráveis ou adversos, físicos, químicos e biológicos. É o caso, por exemplo, das flutuações de vazão, que podem ser responsáveis por turbulência na zona líquida; do mecanismo de desprendimento dos gases produzidos; do equilíbrio do processo de digestão anaeróbia, que requer quantidades adequadas de lodos sazoados para apressar a fase de fermentação alcalina, por sua vez, sensível às variações de temperatura. Tais circunstâncias não desmerecem, entretanto, o mérito da fossa séptica, que pode oferecer eficiência na remoção de sólidos em suspensão e DBO da ordem de 60%. (11)

1.4.1 A sobrevivência de microorganismos na fossa séptica tem sido estudada por diversos investigadores, todos unânimes em concluir que o seu efluente é potencialmente suspeito, do ponto de vista bacteriológico.

No Brasil, Souza Araujo e colaboradores⁽¹⁰⁵⁾ relatam terem obtido culturas de germes ácido álcool resistentes de efluentes de fossas sépticas que recebiam os esgotos de dois estabelecimentos hospitalares para leprosos.

Trabalhos mais completos mostram a viabilidade dos bacilos da febre tifóide e da disenteria bacilar em fossas sépticas, nas fezes e no solo e em diferentes condições de umidade e pH, consoante os valores do Quadro 1.1 (49).

QUADRO 1.1

Meio	Viabilidade em dias	
	Bacilo tífico	Bacilo disentérico (Shigela)
Fezes		
Sólida	10	8
Líquida	6	3
Fossas sépticas		
pH — 7.4 a 7.8	14	8
pH — 8.6 ou mais	5	3
Solo		
Seco	20	20
Úmido		
pH — 6.6 a 7.4	70	70
pH — 4.8 a 5.4	30	30

O efluente de fossas sépticas deve ser pois, encarado como perigoso à saúde, razão pela qual o seu destino carece de medidas sanitárias adequadas. A redução bacteriana geral que pode ser esperada no tratamento, é muito variável e compreendida usualmente, entre 25 e 75%.⁽⁸⁶⁾

1.5 Natureza do lodo digerido na fossa séptica

O lodo digerido em fossa séptica apresenta cor negra; é geralmente, ofensivo por causa do seu teor de H₂S e outros gases liberados, a não ser quando o período de digestão é dilatado em prolongada permanência na zona de sólidos. A redução de volume que se observa na matéria orgânica na fossa é devida ao aumento de peso específico após desintegração e a compactação resultante ao prolongado tempo de armazenamento; conseguem-se valores da ordem de 10 a 40%, sendo de 30% o valor médio.⁽⁸⁶⁾

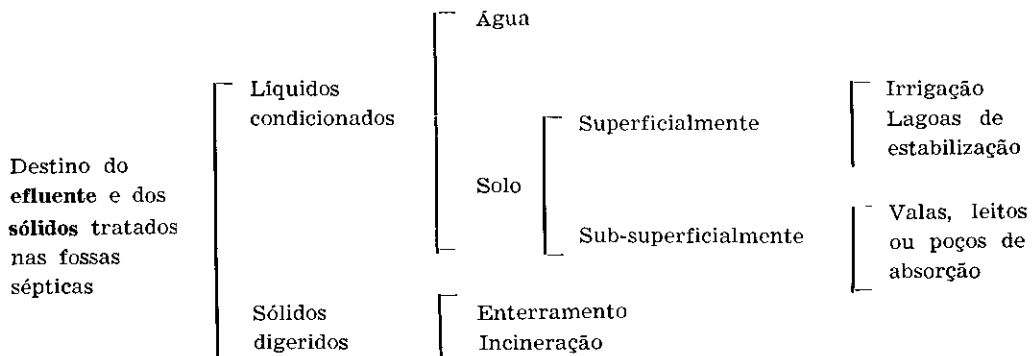
A secagem do lodo com 90% de umidade, em leitos permeáveis, em camadas pouco espessas, é possível sem que ocorram desprendimentos de odores desagradáveis, sempre que a digestão se tenha feito adequadamente.

O lodo seco tem baixos teores de nitrogênio total, expresso, em nitrogênio, e de fosfatos, expresso em P₂O₅, e revela presença de ovos de parasitos intestinais, que resistem ao processo de digestão e secagem ao ar livre, como foi ainda recentemente constatado por investigadores do Instituto de Engenharia Sanitária do Estado da Guanabara, para lodos digeridos em digestores separados de instalações de tratamento urbano.⁽⁸⁹⁾

1.6 Destino do efluente e dos lodos das fossas sépticas

Para atender aos requisitos estéticos, higiênicos e econômicos usualmente estipulados para o destino dos esgotos domésticos, o efluente de fossas sépticas, pelas características que apresenta e acima apontadas, necessita passar por um estágio secundário de tratamento por oxidação; por sua vez, as matérias sólidas digeridas e que devem ser periodicamente retiradas da fossa, requerem também destino apropriado.

Do tratamento primário realizado na fossa séptica resultam então, duas componentes: uma líquida, que deve ser submetida a uma oxidação aerobia, quer em água (córregos, riachos, lagoas, mar, etc.), quer no solo, superficialmente, em campos de irrigação ou lagoas de estabilização, ou sub-superficialmente, em valas, leitos ou poços de absorção; outra sólida, cujo destino é preferencialmente, o enterramento ou a incineração após secagem. Em resumo, os métodos de destino do líquido condicionado e dos sólidos digeridos, podem ser enfeixados do seguinte modo:



Costuma-se considerar ainda dois outros métodos de destino do efluente líquido: os filtros biológicos e as valas filtrantes, que têm o seu campo próprio de aplicação nos sistemas destinados a instituições diversas e onde a natureza do solo não permite o uso de qualquer dos outros processos referidos.

Esquemáticamente, o sistema de tratamento e destino dos esgotos da habitação localizada no meio rural ou em áreas periféricas das co-

munidades consoante o que foi apreciado, pode apresentar-se de acordo com a Fig. 1.2.

Enquanto o destino em corpos líquidos receptores depende das condições de auto-depuração relacionadas com a situação topográfica dos usuários à jusante do ponto de lançamento, o destino no solo, principalmente por absorção sub-superficial, depende fundamentalmente da sua natureza, relacionada ao escoamento de líquidos, objeto de apreciação especial nos capítulos seguintes do presente trabalho.

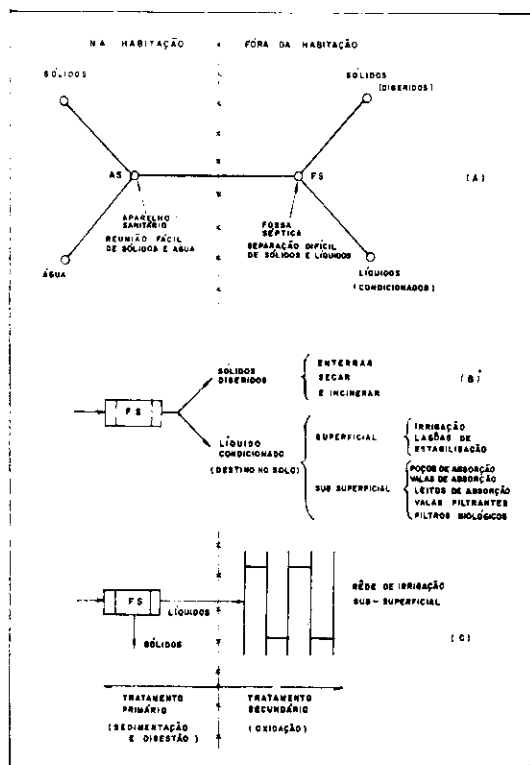


Fig. 1.2 — Esquemas do sistema de fossa séptica.

2. PROPRIEDADES DO SOLO RELACIONADAS AOS SISTEMAS DE ABSORÇÃO

Para compreensão dos problemas relacionados à absorção e percolação de água e efluentes de fossas sépticas no solo, é necessário o conhecimento de suas propriedades naturais, como a sua composição, características granulométricas e os fatores que influem em seu comportamento e desenvolvimento.

2.1 Definição e composição

Define-se o solo como os materiais que constituem as camadas superficiais da crosta terrestre resultantes da ação transformadora de agentes geológicos e climáticos sobre rochas originárias e onde se manifesta atividade biológica. Os produtos resultantes de tais ações, comumente denominadas pedregulhos, areias, siltes e argilas poderão ser autoctones, dando lugar a

formação dos **solos residuais**, ou transportados, constituindo-se os **solos sedimentares**. Os solos residuais formam-se geralmente, sobrejacentes ao material originário, enquanto os sedimentares, pela ação dos agentes transportadores, si-

tuam-se distante, sobre formações diversas das rochas matrizes.

Na sua composição química entram diversos elementos dos quais oito principais, sendo as seguintes as proporções em peso:

1.º Grupo	Oxigênio	46.4%] 74.0%] 87.2%] 98.3%
	Silício	27.6%			
	Alumínio	8.1%] 13.2%		
	Ferro	5.1%			
2.º Grupo	Cálcio	3.6%] 5.7%		
	Magnésio	2.1%			
	Potássio	2.6%] 5.4%		
	Sódio	2.8%			
	Demais elementos				1.7%

O primeiro grupo de elementos, onde predominam o oxigênio e o silício, com 74% do total, dá lugar a compostos ácidos ou fracamente básicos em natureza, enquanto que no segundo grupo, os dois últimos são responsáveis por bases fortes. Estes elementos ocorrem sob a forma de compostos simples ou na maioria dos casos, como complexos silicatos de alumínio e ferro. Estes silicatos sofrem transformações até serem atingidas as argilas e compostos menos solúveis, processos nos quais à hidrólise ou decomposição pela união com a água, desempenha papel saliente. A composição química dos solos tem, do ponto de vista sanitário, menor significado do que as suas propriedades físicas.

O solo não deve ser encarado pelo sanitário, apenas como matéria inerte, mas como um ser vivo, pois ele apresenta diversos dos caracteres vitais, isto é, respiração, digestão, assimilação, crescimento, movimento e até reprodução. Com efeito, diz Rosenau:⁽⁹⁹⁾ o solo respira, ao absorver oxigênio e liberar gás carbônico; é capaz de digerir e assimilar grandes quantidades de matéria orgânica nele depositadas através de complexos processos metabólicos, dos quais resultam excreções; movimentos resultantes de ações biológicas e físicas, movimentos peristálticos, servem como auxiliares das suas funções digestivas; para o exercício de suas várias fun-

ções, o solo requer água, mas não em quantidades excessivas, como nos pântanos, ou carentes, como nos desertos, quando lhe resultam condições mais ou menos adversas; por fim, a elevação ou o abaixamento do lençol d'água subterrâneo, análogo aos movimentos diafragmáticos, auxilia as suas funções respiratórias.

Essa natureza do solo permite que nele se alberguem seres dos reinos vegetal e animal, desenvolvendo-se em consequência, fatores peculiares à sua própria constituição e comportamento.

2.2 Características físicas

A maioria dos solos se constitui de uma acumulação heterogênea de partículas sólidas minerais, chamadas grãos, que geralmente não se acham cimentadas entre si. Os interstícios vazios ou **poros**, existentes entre estas partículas podem estar cheios de água e ar ou totalmente cheios de água. No primeiro caso, o solo representa um sistema de três fases, isto é, a sólida, a líquida e a gasosa; no segundo, o solo é um sistema de duas fases, a sólida e a líquida.⁽²⁵⁾

O volume de vazios que pode ser ocupado pela água e pelo ar, denomina-se **porosidade** e significa de fato, o poder do solo em **absorver** água, enquanto a **permeabilidade** é a faculdade do solo em permitir a passagem da água.

A **capacidade hídrica** do solo se revela quando completamente **saturado**, isto é, com o seu máximo **grau de saturação**, enquanto a sua **capacidade de retenção** é expressa pela quantidade de água retida após completa drenagem.

Paralelamente à absorção ou preenchimento dos interstícios pela água, manifestam-se também, nos solos, os fenômenos de **adsorção**, através os quais eles se revelam higroscópicos, isto é, expandem-se pela intrusão de água em suas partículas individuais (adesão molecular).

São conhecidas as diversas relações volumétricas e gravimétricas que relacionam as fases referidas e para cuja demonstração simplificada é usual recorrer-se à representação esquemática da Fig. 2.1.

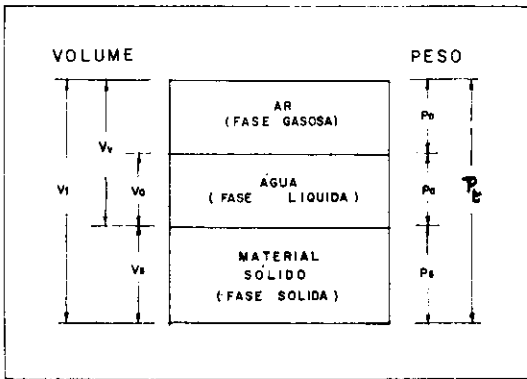


Fig. 2.1

Com efeito, sendo:

V_t = Volume total da porção de solo considerada;

V_s = Volume do material sólido;

V_v = Volume de vazios;

V_a = Volume de água;

P_t = Peso total da porção de solo considerada;

P_s = Peso do material sólido, determinado por secagem a 105°C;

P_a = Peso da água;

a = Peso específico da água (praticamente = 1 ou ... 0,99896 para $t = 20^\circ\text{C}$).

Resultam as conhecidas expressões:

$$m = \frac{P_t}{V_t} = \frac{P_s + P_a}{V_t},$$

peso específico da porção de solo considerada;

$$s = \frac{P_s}{V_s},$$

peso específico do material sólido (fase sólida);

$$e = \frac{V_v}{V_s},$$

índice de vazios;

$$n = \frac{V_v}{V_t},$$

porosidade;

$$w = \frac{P_a}{P_s},$$

teor em água (umidade);

$$G_a = \frac{V_a}{V_v},$$

grau de saturação.

Os solos minerais têm o seu **peso específico** compreendido de um modo geral, entre, 2,65 e 2,70, enquanto que para os solos orgânicos, este valor seria de 1,50 a 2,0, conforme o conteúdo mineral. A **relação de vazios** oscila, via de regra, entre 35 a 50%, na base de sólidos secos, enquanto que o **grau de saturação** vai de 0 (zero) para os solos secos a 1 (um) para os solos completamente saturados; a capacidade de retenção pode variar de 50 a 1000% do peso do material de que se constitui o solo.

Os grãos são classificados em quatro categorias principais, conforme a terminologia brasileira: (9)

a) Pedregulhos, com grãos minerais compreendidos entre 4,8 mm e 76 mm;

b) Areia, com diâmetro dos grãos compreendidos entre 0,05 mm e 4,8 mm, sendo:

Areia fina de 0,05 a 0,25 mm

Areia média de 0,25 a 0,84 mm

Areia grossa de 0,84 a 4,8 mm;

- c) Silte, com diâmetros compreendidos entre 0,005 mm e 0,05 mm;
- d) Argila, com diâmetros de grãos inferiores a 0,005 mm.

A composição granulométrica ou **textura**, é definida pela «distribuição de frequência dos pesos dos grãos de um solo em função dos diâmetros dos mesmos» (91); a proporção dos diversos grãos presentes dá as bases do sistema de classificação das texturas. Praticamente, costuma-se entender que nos solos de **textura grossa** predominam predregulho e areia e neste grupo, está o chamado barro-arenoso. entendendo-se por **barro** o solo em que nenhuma das propriedades das partículas elementares mencionadas predomina; nos de **textura média**, os solos siltosos, que também incluem o barro siltooso e finalmente nos de **textura fina**, os siltes e as argilas, inclusive os barros-argilosos.

As propriedades físicas relacionadas com as partículas minerais do solo tendem a ser influenciadas pela presença de matéria orgânica que é de natureza coloidal, dando lugar aos chamados solos com matéria orgânica ou simplesmente **solos orgânicos**, considerados de textura fina. Por outro lado, a presença de matéria orgânica decomposta, bem como de alguns compostos de ferro e de outros minerais como quartzo, kaolim e mica dá lugar à **cor** dos solos. De fato, o humo estimula a coloração parda escura ou preta das partículas minerais; a oxidação do ferro em maior ou menor intensidade dá lugar a uma escala de coloração que vai do vermelho e do amarelo, ao castanho e acinzentado e é obtida graças a condições favoráveis de **drenagem** e **arejamento** do solo. Para as cores realmente observadas nos solos existem as cartas padronizadas de Munsell que são utilizadas em certas aplicações práticas.

A agregação das partículas primárias ou elementares em outras maiores de tamanho e forma relativamente constantes dá lugar à **estrutura** dos solos. O arranjo das partículas em um solo denomina-se **estrutura primária**, enquanto aquela que é desenvolvida após ter sido o solo depositado, diz-se **estrutura secundária**.

Além da **textura**, da **cor** e da **estrutura**, os solos são também identificados pela sua **compacidade** e **plasticidade**. A compacidade se define como «a condição mais ou menos próxima do

arranjo dos grãos correspondentes ao volume mínimo de vazios» e por plasticidade se entende a «propriedade do solo de sofrer deformações permanentes sem se fissurar ou romper». (91)

O grau de compacidade, GC, se calcula, em função do índice de vazios, «e», pela fórmula:

$$GC = \frac{e_{\text{maximo}} - e_{\text{natural}}}{e_{\text{maximo}} - e_{\text{minimo}}}$$

em que $e = \frac{n}{1 - n}$, sendo «n» a porosidade. A compacidade assim expressa, divide as areias em:

	GC
Areias fofas	0.2 — 0.3
Areias medianamente compactas ...	0.3 — 0.6
Areias compactas	0.6 — 1.0

Quanto à plasticidade, que é uma propriedade característica dos solos argilosos, revelada sobre variáveis condições de umidade, pode-se expressá-la observando os diversos estágios por que passa: entre o estado líquido e o estado plástico tem-se um **limite de liquidez** (LL); entre os estados plásticos e semi-sólido, verifica-se um limite de plasticidade (LP); finalmente, com o decréscimo da percentagem de umidade do solo, passa-se ao estado semi-sólido, no chamado **limite de concentração** (LC). O **índice de plasticidade** (IP) é representado pela expressão:

$$IP = LL - LP$$

Os valores do índice de plasticidade para diversos tipos de solo é o seguinte:

Areias	0
Silte	0 — 1
Areia argilosa	10 — 15
Argilas	10 — 50
Turfa	50 — 150

Obtém-se o limite de liquidez (LL) pela conhecida fórmula:

$$LL = \frac{h}{1.419 - 0,3 \log n}$$

em que «h» representa a umidade correspondente a «n» golpes do aparelho de Casagrande. Para n = 25, LL = h, isto é, o LL é o teor de

umidade para o qual o sulco feito na amostra para o ensaio, se fecha com 25 golpes. Si LL = 50, significa que, com redução de 50% de umidade, o solo perdeu a sua capacidade de fluir.

2.3 Classificação

Das diversas classificações dos solos, a **Unificada** (118), que os agrupa conforme a granulometria, e a **Pedológica** (18, 113), que os enquadra objetivando aplicações agrícolas, são as que apresentam direta relação com os estudos para seu aproveitamento como meio receptor de esgotos domésticos.

2.3.1 A **Classificação Unificada** dos solos — Quadro 2.1 — especialmente preconizada para estudos de urbanização, loteamentos e implantação de conjuntos residenciais, que preveem áreas destinadas a irrigação sub-superficial de esgotos domésticos, divide os solos em três grupos principais, quais sejam: os solos de granulações grossas, os solos de granulações finas e os solos com alto teor de matéria orgânica. Nos primeiros, mais de metade do material é maior que a malha da peneira 200 (0,076 mm) da série de Tyler, que é o limite do tamanho dos grãos visíveis a olhos desarmados; nos segundos, mais de metade do material é menor do que a peneira 200 e neles estão os siltes e argilas, divididos em duas categorias, conforme o limite de liquidez seja inferior ou superior a 50; nos últimos estão as turfas.

2.3.2 Para proceder-se a identificação pedológica dos solos torna-se, antes necessário distinguir a seguinte terminologia:

O **perfil do solo** é representado pela seção transversal das diversas camadas de que é constituído, chamados **horizontes**, normalmente codificados pelas letras maiúsculas A, B e C, conforme a Fig. 2.2 (126).

O **horizonte A** corresponde à camada superficial do solo e nele se processa máxima atividade biológica; está sujeito a intensa ação de agentes climáticos, com remoção parcial dos produtos resultantes, dissolvidos ou em estado coloidal, bem como acumulação de matéria orgânica. Sua espessura varia de 0,45 a 0,55 m.

O **horizonte B**, conhecido por sub-solo, é a zona onde se verifica moderada ação de fatores

climáticos, com acumulação de produtos provenientes do horizonte «A»; formam-se nele agregados estáveis de pequenas partículas e sua espessura é da ordem de 1,0 m.

O **horizonte C** é a zona do material originário ou rocha de origem, trabalhado pela ação do tempo, com espessura compreendida entre 1,0 a 1,50 m. Sob este horizonte, aparece a chamada Camada D de rocha maciça e que habitualmente não se constitui em parte integrante do perfil do solo.

Os **horizontes** mencionados podem apresentar individualmente, certa diferenciação, resultando a sua distribuição em **sub-horizontes** também representados pelas mesmas letras A, B e C porém com índices apropriados, isto é: A₀₀, A₀, A₁, A₂, A₃, B₁, B₂, B₃. Quando todos ou a maioria dos horizontes se acha presente e se tenham tornado estabilizados ao longo do tempo, diz-se estar o **solo desenvolvido**.

No perfil padrão representado pelo Quadro 2.2 aparecem todos os sub-horizontes definidos e alguns de seus atributos principais.

2.3.3 Da **Classificação Pedológica**, os níveis que podem interessar à presente matéria, são os Grandes Grupos de Solos, as Séries e os Tipos.

a) Grandes Grupos de Solos

Consistem os **grandes grupos de solos** de perfis com as principais características em comum, baseados no efeito conjunto do clima, vegetação e topografia; distinguem-se por exemplo, os Solos Podzólicos, Latosólicos, Chernozênicos e Desérticos.

Os Podzólicos integram-se numa larga faixa de latitudes elevadas do hemisfério norte e áreas menores do hemisfério sul e se formaram sob florestas de climas úmidos e temperados.

Os Latosólicos dominam faixas equatoriais da África e América do Sul e se formaram sob florestas e savanas em climas tropical e sub-tropical, de úmidos a secos. Incluem especialmente os solos podzólicos vermelhos-amarelos que têm características comuns ao latosol e ao podzol, mas predominantemente, aos primeiros.

Os Chernozênicos se formaram sob campinas e relvas em climas úmidos e semi-áridos, temperados e tropicais.

QUADRO 2.1

Divisões		Símbolo do Grupo	Nomes Típicos do Grupo de Solos
Solos de granulações grossas	Pedregulhos e solos pedregulhosos	GW	Pedregulhos bem graduados, misturas de pedregulho e areia, nenhum ou poucos finos.
		GP	Pedregulhos mal graduados ou mistura de pedregulho e areia, nenhum ou poucos finos.
		GM	Pedregulhos siltosos, misturas de pedregulho, areia e silte.
		GC	Pedregulhos siltosos, misturas de pedregulho, areia e argila.
	Areias e solos arenosos	SW	Areias bem graduadas, areias pedregulhosas, nenhum ou poucos finos.
		SP	Areias pobremente graduadas ou areias pedregosas, nenhum ou poucos finos.
		SM	Areias siltosas, misturas de areia e silte.
		SC	Areias argilosas, misturas de areia e argila.
Solos de granulações finas	Siltos e argilas	ML	Siltos inorgânicos e areias muito finas, areias finas siltosas ou argilosas ou siltos argilosos com ligeira plasticidade.
		CL	Argilas inorgânicas de baixa ou média plasticidade, argilas pedregosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras.
		OL	Siltos orgânicos e argilas orgânicas siltosas de baixa plasticidade.
	Siltos e argilas	MH	Siltos inorgânicos, solos micáceos ou diatomáceos arenosos ou siltosos, siltos plásticos.
		CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade, argilas gordas.
		OH	Argilas orgânicas de média e alta plasticidade, siltos orgânicos.
Solos altamente orgânicos		PT	Turfa e outros solos com alto teor de matéria orgânica.

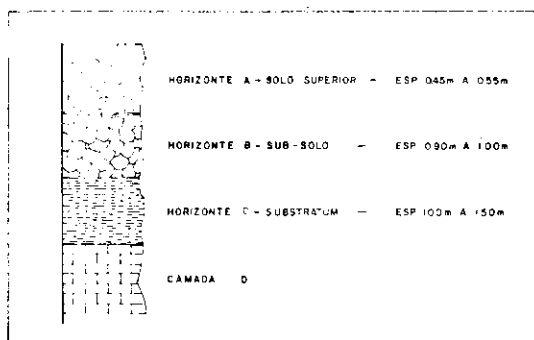


Fig. 2.2 — Perfil do solo e horizontes.

Os desérticos se constituíram sob relvas e arbustos em climas áridos, com larga faixa de variação de temperatura; encontram-se nos grandes desertos da Ásia, África e Austrália, bem como nos da América do Norte e Sul.

b) Séries

As Séries caracterizam solos similares que têm o mesmo perfil e mesma idade, constituindo-se em análogas condições de clima, vegetação e meio local e agindo no mesmo material originário; a elas são dadas as mesmas designações, que levam

QUADRO 2.2

Perfil padrão hipotético

Código	Atributos	Natureza	Denominação usual
A ₀₀	Folhas e outros detritos orgânicos não decompostos	—	—
A ₀	Detritos orgânicos decompostos não misturados	—	—
A ₁	Cor escura; matéria orgânica em quantidade elevada misturada com matéria mineral	Zona Eluvial (*)	Solo Superficial
A ₂	Cor clara, máxima percolação		
A ₃	Transição ao B		
B ₁	Transição	Zona Iluvial (**)	Sub-solo
B ₂	Cor mais escura, máxima acumulação		
B ₃	Transição ao C		
C		Rocha matriz ou de origem	Substratum

(*) Eluvial — Todo horizonte que perdeu material transportado em solução ou em suspensão coloidal, de um ponto para outro do solo.

(**) Iluvial — O horizonte de um solo em que se verifica acumulação de matéria orgânica ou mineral em suspensão proveniente do horizonte superior.

o nome de lugares ou acidentes geográficos locais. Exemplo: **Série Itaguaí.**

c) **Tipo**

O **tipo** de solo caracteriza a textura do solo superficial do horizonte A. Desta forma, o tipo de solo se designa pelo nome da Série seguida da classificação da textura. Exemplo: **Itaguaí arenosa.**

Nos trabalhos de campo, considera-se suficiente o reconhecimento das séries e dos tipos, fazendo-se o enquadramento nos grandes grupos de solo apenas quando necessário. Além das séries e tipos, também as **fases** podem ser empregadas para distinguir circunstâncias particulares de determinados locais.

2.3.4 A classificação pedológica da estrutura dos solos, de grande utilidade na interpretação dos ensaios de percolação, distingue, quanto à forma e ao arranjo dos agregados naturais individuais, as seguintes variedades:

- a) Forma **achatada** ou com as faces principalmente horizontais: **lamelar.**
- b) Forma **prismática**: com os topos arredondados, **colunar**, ou com o topos não arredondados, **prismática.**
- c) Forma **poliédrica**: com as faces achatadas e a maioria dos vértices em ângulos vivos, **angular** ou com as faces arredondadas e achatadas e muitos vértices arredondados, **nuciforme.**
- d) Forma **esferoidal**: com os agregados individuais pouco porosos, **granular**, ou com os agregados individuais porosos, **fragmentária.**

2.4 **Fatores influentes nos solos**

Os **fatores influentes** na constituição e comportamento dos solos, são a natureza do material originário, o tempo, o relevo, o clima e os agentes biológicos.

O material originário é responsável pelas chamadas **características herdadas**, ao passo que o clima e a atividade dos seres vivos dão lugar às **características adquiridas**, por sua vez dependentes do relevo. O fator tempo relaciona umas

às outras, observando-se a princípio, predominância das primeiras e subsequentemente, das últimas.

2.4.1 O **material originário** representa o material não consolidado, básico na formação do solo, cuja natureza se relaciona ao caráter das rochas primitivas e às formações geológicas respectivas. Sua desintegração e decomposição se processa ao longo do **tempo** em maior ou menor intensidade, dependendo da integração com os demais fatores de formação do solo. Depósitos quaternários resultantes deste processo, com cerca de 200.000 anos de existência, revelam perfis bem definidos, enquanto os de apenas 2.000 anos, são fracamente desenvolvidos. Assim, a estimativa de **idade**, ou grau de **maturidade** do solo tem sido universalmente baseada na diferenciação dos horizontes do perfil.

2.4.2 O relevo exerce influência sobre o escoamento superficial das águas e nas condições de drenagem interna, além de ser fator principal na diversificação das condições climáticas. A drenagem é rápida em superfícies montanhosas, e lenta na planície, enquanto que o deflúvio em fortes declives intensifica a erosão e o carreamento do material subjacente. Por outro lado, os perfis do solo em declives suaves são mais profundos do que os de superfícies íngremes, onde os horizontes são também pouco distintos como se representa esquematicamente na Fig. 2.3.

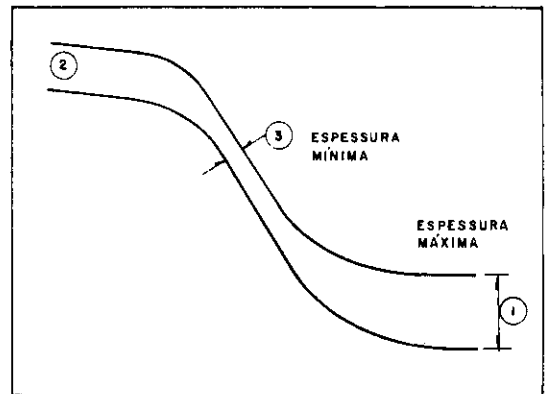


Fig. 2.3 — Influência da topografia no solo.

2.4.3 Os **fatores climáticos** são importantes na formação e comportamento do solo, distinguindo-se, principalmente, a precipitação

de **chuvas** e a **temperatura**. Com efeito, sabe-se que elevadas precipitações anuais induzem o desenvolvimento de **solos úmidos**, com flora ativa e exuberante, conquanto os fortes deflúvios provoquem a erosão; por seu turno, reduzidas intensidades pluviométricas dão lugar à formação de **solos secos, áridos**, de escassa flora de vegetais superiores ou inferiores; finalmente, sabe-se que valores mais elevados da temperatura ambiente, são mais próprios ao desenvolvimento dos solos. Por outro lado, variações de temperatura, de pressão atmosférica e chuvas intensas têm influência nas trocas entre o ar atmosférico e o ar telúrico, este presente no solo, em quantidades variando de 30 a 50%, em volume, com teores baixos de oxigênio e elevados de gás carbônico resultante de decomposição da matéria orgânica.

2.4.4 A **atividade dos seres vivos** é relevante nos solos, não somente porque a decomposição da matéria orgânica se faz à sua custa, como também os processos de desenvolvimento são por eles influenciados até mecânicamente. As mais importantes espécies de organismos que interessam aos problemas de formação e comportamento dos solos se encontram em qualquer dos reinos vivos da natureza e se podem agrupar de acordo com certos atributos peculiares, como está no Quadro 2.3.

Destacam-se na macro-fauna, as minhocas (vermes), na macro-flora, as raízes dos vegetais superiores e na micro-flora, as bactérias, actinomicetes e fungos, cujos caracteres distintivos mais notáveis são os seguintes: ⁽¹²⁶⁾

a) **Minhocas**

Segundo a classificação do reino animal, as **minhocas** fazem parte da Ordem Opisthophora, Classe Oligochaeta, Phylum Annelida. São vermes segmentados, terrestres, e incluem cerca de 2.000 espécies que variam em comprimento de 0,02 m a 2,00 m; seu «habitat» característico é o solo, onde passam a maior parte de seu ciclo vital, emergindo apenas ocasionalmente; perfuram canaliculos que melhoram a **aeração** do solo com significado sobre a flora bacteriana; influenciam a drenagem das águas superficiais; interferem na estrutura e proporcionam **vias** de penetração para as raízes das plantas superiores; aumentam, com a sua presença, o

poder nitrificante dos solos; nutrem-se de detritos orgânicos e se encontram em grande número que pode atingir em condições ecológicas favoráveis, a cerca de cinco milhões por hectare.

b) **Vegetais superiores (raízes)**

As raízes dos vegetais superiores influenciam o estabelecimento de certas condições granulométricas do solo e são o local de eleição para a atividade microbiana. Na **rhizosfera**, ou o meio envolvente às raízes, proliferam populações de microorganismos 10 a 50 vezes superiores às que se desenvolvem afastadas.

Outro importante fator da cobertura vegetal relacionado com a constituição e comportamento do solo, é a evapo-transpiração das plantas que depende das estações do ano e da profundidade do lençol aquífero. Sabe-se, por exemplo, que a transpiração normal durante a estação do ativo crescimento, pode atingir valores compreendido entre 50 e 300 mm, desde a grama rasteira às árvores coníferas.

c) **Bactérias e actinomicetes**

Das diversas ordens da classe dos Schizomycetes da Divisão Protophyta (plantas primitivas), a dos **Eubacteriales** e **Actinomycetales** e **Pseudomonadales** são as que apresentam especial interesse na formação e desenvolvimento dos solos e suas relações com a técnica sanitária.

Na ordem das **Eubacteriales** e **Pseudomonadales** estão os microorganismos não clorofilados, parasitos ou saprófitos que vivem na grande maioria dos casos, no solo, onde chegam sob certas condições, a atingir a 0.3% do peso do solo, ou ainda em água, e são os chamados «agentes da decomposição», responsáveis pelos ciclos vitais da natureza. Possuem variados caracteres morfológicos e metabólicos. Seus requisitos de nutrição são obtidos de substâncias ou compostos inorgânicos (autotrofismo) ou de compostos orgânicos (heterotrofismo); as necessidades respiratórias são atendidas em fontes de oxigênio diretas (aerobiose) ou indiretas (anaerobiose) ou em condições intermediárias (anaerobiose facultativa). Dos tipos de microorganismos notáveis pelas suas diretas relações com os ciclos do **nitrogênio** do **carbono** e do **enxofre**, e portanto, com a vida nos horizontes superficiais do solo, citam-se os seguintes:

QUADRO 2.3

REINO ANIMAL	Macro-flora	Subsistindo particularmente de matéria vegetal (fitófagos)	<p>Esquilos Cururús (Roedores, Vertebrados) Marmotas</p> <p>Bicho-de-conta (Dilopodes) Embuás</p> <p>Formigas Escaravelhos (Insetos) Baratas</p> <p>Ácaros (Araquinídeos)</p> <p>Minhocas (Oligoquetas-Anelídeos)</p> <p>Lesmas (Gastropodes) Caramujos</p>
		Predatórios	<p>Toupeira (Roedores)</p> <p>Centopéia (Quilopodes)</p> <p>Formigas (Insetos) Escaravelhos</p> <p>Aranhas (Araquinídeos) Ácaros</p>
	Micro-fauna	Predatórios, parasitas, subsistindo de matéria vegetal	<p>Ciliados Amebas e (Protozoários, infusórios) Flagelados</p> <p>Vermes não segmentados (Nematoides)</p>
REINO VEGETAL	Macro-fauna	Clorofilados	Vegetais superiores: Raízes
	Micro-flora	Clorofilados (Algas)	<p>Algas azuis-verdes (Cianofíceas)</p> <p>Algas verdes (Clorofíceas)</p> <p>Diatomáceas (Crisofíceas)</p>
		Aclorofilados, parasitas ou saprófitas	<p>Actinomicés (Esquizomicetes) Bactérias</p> <p>Bolores (Eumicetes)</p> <p>Levedos (Ascomicetes)</p> <p>Cogumelos (Basidiomicetes)</p>

QUADRO 2.4

Horizonte	Espessura m	% de Bactérias	% de Actinomi- ces
A ₁	0,45	44	25
A ₂	a	32	31
A ₃	0,55	16	20
B ₁	0,90	5	8
B ₂	a	2	8
B ₃	1,0	1	8
C	1,0 e 1,5	0	0
		100	100

Oxidantes de compostos de nitrogênio. Gêneros: **Nitrosomonas** e **Nitrobacter**; são aeróbias, estritas ou facultativamente autotróficas e responsáveis respectivamente, pela oxidação da amônia a nitritos e destes a nitratos (bactérias nitrificantes).

Fixadores de nitrogênio. Gêneros: **Rhizobium**, **Azotobacter** e **Clostridium**. As duas primeiras aeróbias, enquanto a última, anaerobia.

Oxidantes de compostos simples de hidrogênio e carbono. Gêneros: **Hidrogenomonas**, **Carboxydromonas** e **Methanomonas**. São aeróbias, autotróficas ou heterotróficas facultativas.

Oxidantes de enxofre e seus compostos. Gêneros: **Thiobacillus**. Encerram espécies aeróbias, mas todas autotróficas.

Igualmente importantes são as bactérias dos gêneros **Aerobacter** e **Escherichia**, anaeróbias facultativas, que não formam esporos e, pela natureza de seu «habitat», têm importante significado sanitário. Dentre elas destacam-se as espécies **Aerobacter aerogenes** e **Escherichia coli**, as primeiras consideradas de um modo geral, como organismos do meio (solo e água) e sobre os quais exercem sua ação, e as segundas, microorganismos quase sempre comensais do intestino humano e outros vertebrados e indicadores de poluição fecal.

A ordem **Actinomycetales** encerra os actinomicetes que se caracterizam, ao contrário dos **Eubacteriales**, pela sua falta de motilidade e pela vida restrita ao solo ou superfícies sólidas expostas ao ar; requerem relativamente, pouca umidade para subsistência, são aeróbios, mas há algumas espécies anaeróbias. As espécies do gênero **Actinomyces**, são na maioria saprófitas, executam verdadeira varredura do solo com o ataque a substâncias orgânicas, como proteínas, gorduras, etc.. Podem encontrar-se em número bem inferior (cerca de 10%) às bactérias.

Pesquisas levadas a efeito em amostras representativas de solos, revelam os percentuais do Quadro 2.4 (126), que dá a distribuição de bactérias e actinomicetes pelos diversos horizontes; o decréscimo das populações bacterianas a partir da superfície até o horizonte C segue uma lei hiperbólica assintótica ao nível do terreno. Os dados esclarecem por exemplo, que cerca de 90% das bactérias e 75% dos actinomicetes se encontram no horizonte A, isto é, nos primeiros 0,50 m de solo, aproximadamente, circunstância esta a que se deve emprestar especial sig-

nificado na execução dos sistemas de irrigação sub-superficial de esgoto, construindo-os em valas pouco profundas. Horizontes acentuadamente estéreis não ensejam manifestar-se em toda a sua plenitude, a atividade bacteriana característica do ciclo do nitrogênio, resultando daí, nitrificação incompleta.

d) Bolores, Levedos e Cogumelos (Fungos)

Os fungos são microorganismos aclorofilados, saprofitas, sendo algumas espécies parasitas; têm importância no processo de decomposição da matéria orgânica depositada no terreno, onde se desenvolvem abundantemente desde que o meio lhes seja próprio, muito particularmente quando o teor de umidade não é adequado para o crescimento de bactérias. O oxigênio é indispensável à vida da maioria dos fungos. Alguns tipos proliferam nas raízes das plantas superiores, nelas penetrando e constituindo as chamadas **mycorrhizas**, associação benéfica em virtude da qual se desenvolve maior área de absorção. Os fungos são menos numerosos que as bactérias e actinomicetes no solo; pesquisas já levadas a efeito mostram que a sua população atinge a não mais de 1% do total dos dois grupos, embora em peso por unidade de área, eles se equiparem ao das bactérias e actinomicetes.

3. RECONHECIMENTO DO SOLO E AVALIAÇÃO DA SUA CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E EFLUENTES DE FOSSAS SÉPTICAS

Os solos têm estrutura definida, podendo ser analisados, identificados e classificados conforme descrito sucintamente no Capítulo anterior; é necessário ainda, estabelecerem-se roteiros simples para seu reconhecimento e avaliação de sua capacidade de absorção de água.

A primeira parte do trabalho realiza-se através de **mapas e reconhecimentos** das áreas aproveitadas e de **investigação de campo**; a fase complementar leva-se a efeito por meio de ensaios de **infiltração e permeabilidade**, cujos métodos de campo e respectiva interpretação dos resultados das medidas se tem constituído em motivo de preocupação constante de técnicos e investigadores.

3.1 Mapas e reconhecimentos

Os mapas de solos são de diversas categorias e se classificam conforme o tipo de levantamento realizado e o fim a que se destinam. No Brasil, os trabalhos de mapeamento pedoló-

gico têm sido realizados pelo Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas do Ministério de Agricultura e outros órgãos federais e estaduais especializados. As áreas mapeadas cobrem somente alguns Estados, como é o caso dos Estados do Rio de Janeiro e Guanabara, não sendo pois de uso fácil e generalizado este recurso de identificação dos solos.

A Fig. 3.1 reproduz áreas relativas ao Estado da Guanabara e parte do Estado do Rio de Janeiro, extraída da Carta dos Solos do Estado do Rio de Janeiro, de 1955. (18)

3.1.1 Os mapas e reconhecimentos fornecem geralmente, indicações dos seguintes aspectos do solo:

- Características internas: textura, estrutura, cor, espessura e drenabilidade de cada um dos horizontes de perfis completos.
- Características externas: declives, drenagem superficial e usos da terra.
- Características químicas: pII, salinidade e alcalinidade.

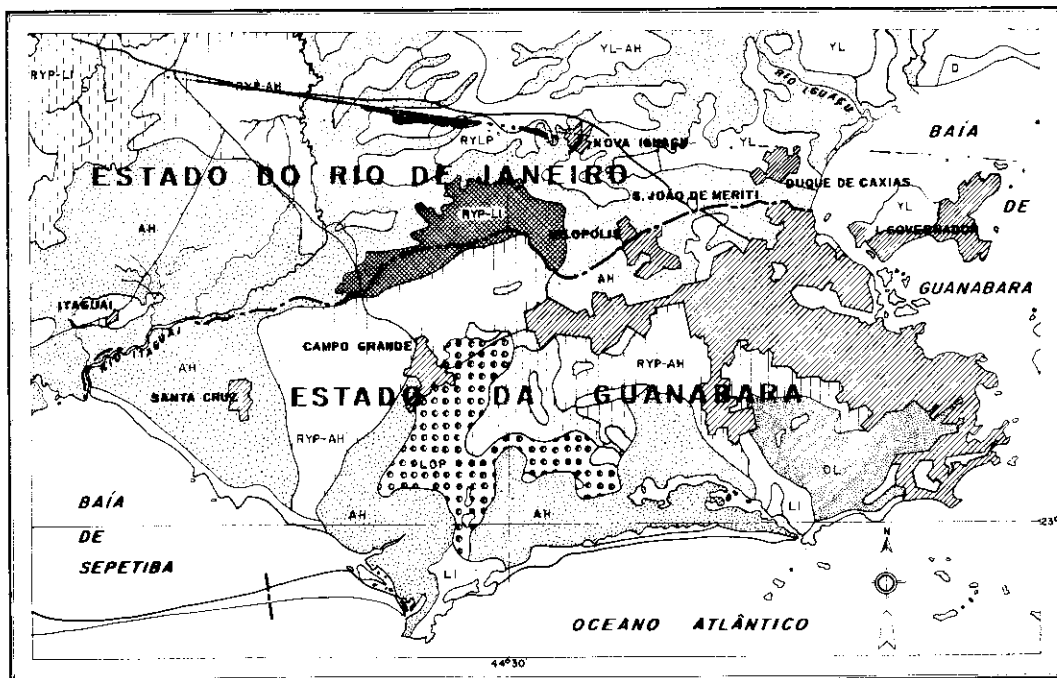


Fig. 3.1

d) Características topográficas: acidentação, «talwegs» e linhas de escoamento superficial.

e) Características da cobertura vegetal e das culturas agrícolas.

3.2 Investigação de Campo

Complementando as informações obtidas dos levantamentos e mapas, seguem-se as investigações de campo realizados nas áreas de interesse e que incluem:

a) Observação de sistemas de absorção de instalações de fossas sépticas já existentes na região; coleta de amostras do terreno para determinação de laboratório feitas a profundidades recomendadas para o sistema de absorção, em cortes ou escavações para construção de estradas próximas ou resultantes de perfurações executadas com o trado;

b) Apreciação das propriedades que permitem aquilatar a adequação do solo ao sistema, isto é:

3.2.1 Textura

Areias: solos com aspecto angular, em que os grãos individuais podem ser percebidos ao tato; quando secos ao ar, não se moldam, e os grãos se deixarão cair livremente, se a ação que os retenha for interrompida; moldam-se quando úmidos, porém facilmente se fragmentam.

Siltes: quando secos apresentam coesão necessária para formar torrões facilmente desagregáveis pela pressão dos dedos; quando úmidos, moldam-se de modo a serem livremente manipulados; quando encharcados, tornam-se lodosos.

Argilas: Solos de textura fina, cuja identificação é baseada na propriedade de coesão do solo úmido; quando secos, apresentam coesão bastante para constituir torrões dificilmente desagregáveis pela pressão dos dedos; quando suficientemente úmidos, moldam-se facilmente em diferentes formas.

Solos Orgânicos: a sua identificação é baseada no elevado teor de matéria orgânica; quando está presente grande percentagem de partículas fibrosas oriundas de material carbonatado, podem ser classificados como turfas; restos de plantas e fibras de madeira são facil-

mente reconhecidos; a cor varia de castanho ao preto; ocorrem em local pantanoso e apresentam elevada contração quando secos.

De acordo com a Classificação Unificada do Quadro 2.1, as áreas indicadas para sistemas de absorção de esgotos obedecem à escala da tabela abaixo, onde o número 1 representa a situação mais favorável, seguida da de número 2, menos favorável, e as das iniciais NS indicadoras de que o local **não serve** ao fim em questão:

Símbolos	Solos perturbados	Solos não perturbados
GW	1	1
GP	1	1
GM	2	2
GC	2	2
SW	1	1
SP	1	1
SM	2	2
SC	NS	2
ML	NS	2
CL	NS	2
OL	NS	2
MH	NS	2
CH	NS	2
OH	NS	NS
P _t	NS	NS

3.2.2 Estrutura

Os solos estruturados são em geral mais permeáveis, destacando-se os compostos de agregados em forma esferoidal; solos maciços ou não estruturados são menos permeáveis.

3.2.3 Compacidade e plasticidade

Solos compactos com graus de compacidade elevados, tendem a ser pouco permeáveis, assim como os solos de elevado índice de plasticidade.

3.2.4 Cor

Tonalidades vivas de amarelo ou castanho-avermelhado ao longo do perfil, são indicativos de condições satisfatórias de absorção; solos su-

periféricos acinzentados e sub-solos castanhos ou de coloração matizada, revelam condições pouco favoráveis.

3.2.5 Fissuras e poros visíveis

Orifícios, buracos ou canaliculos produzidos por vermes, raízes, etc., são bons atributos; sulcos que incham até se fecharem são, ao contrário, más indicações.

3.2.6 Espessura das camadas e nível do lençol de água

A espessura das diversas camadas do perfil tem importância para o assentamento da rede de irrigação sub-superficial, pois os horizontes que lhe ficam subjacentes devem ter características satisfatórias até uma profundidade nunca inferior a 1.50 m, conforme a densidade habitacional da área considerada.

Por sua vez, o nível do lençol aquífero subterrâneo e suas variações estacionais necessitam ser investigados, pois é indispensável que fiquem assegurados o constante arejamento das camadas úteis da rede de irrigação, e a proteção das águas do sub-solo contra a poluição.

3.3 Ensaio de permeabilidade

A avaliação quantitativa da capacidade de absorção de um solo, se consegue pela realização dos **ensaios de permeabilidade**, que são função das características granulométricas do solo.

Os procedimentos conhecidos para determinar-se a absorção de água pelo solo recorrem a:

- a) Medidas em amostras de solo removidas de sua posição natural;
- b) Medidas feitas «in situ».

3.3.1 Medidas em solos removidos de sua posição natural

São estas geralmente realizadas em laboratórios, e os resultados avaliados referem-se apenas, à porção de solo considerada, nenhuma relação sendo estabelecida entre as diversas camadas que o compõem. Assim, os valores dos ensaios serão somente aplicáveis à camada de onde foi recolhida a amostra, porquanto horizontes B e C impermeáveis podem, por exemplo, prejudicar a drenagem em horizontes A

permeáveis. Os resultados obtidos poderão quando muito, permitir um grupamento de solos baseados em suas características relativas de permeabilidade. Corpos de prova naturais podem se revelar impraticáveis para ensaios em laboratório, especialmente por causa dos canaliculos perfurados por minhocas.

3.3.2 Medidas «in situ»

As determinações «in situ» demandam tempo para serem realizadas, mas conduzem a valores quantitativos da absorção de água pelo solo considerado. Distinguem-se dois métodos de trabalho «in situ»: **método de infiltração**, comumente empregado pela técnica agrícola e que visam a determinar a absorção de água nos horizontes superficiais do solo; e os **métodos de permeabilidade**, que mais diretamente têm interesse à técnica sanitária e permitem conseguir-se a absorção ou a velocidade de escoamento da água nos sucessivos horizontes do solo.

Os ensaios de infiltração requerem a simulação de chuva por um sistema de aspersão ou a inundação do terreno, procedendo-se as medidas de infiltração por métodos especiais.

Quanto aos ensaios de percolação, sua técnica especial, estabelecida em 1926, nos trabalhos pioneiros de Henry Ryon, consistia em três fases principais:

- 1.º Preparo do poço: escavá-lo com seção quadrada com 0,30 m de lado, até a profundidade desejada e depois enchê-lo com água limpa;
- 2.º Observações: medir o tempo necessário para a água baixar 2,54 cm (1 polegada), a partir do momento em que o seu nível estiver a 15 cm da superfície do terreno.
- 3.º Conclusão: tomar para tempo de percolação a média das leituras do ensaio.

Recentemente, alguns pesquisadores⁽¹³⁵⁾ procurando corrigir as impropriedades do método de Ryon ao mesmo tempo que torná-lo mais simples e rápido de execução, introduziram-lhe algumas modificações, a saber:

- a) Quanto às **características** do poço

Os resultados de numerosos ensaios com poços de 10 cm de diâmetro e outros de 30 cm de

lado não revelaram diferenças estatisticamente significativas. Nestas condições, passou-se a adotar o poço cilíndrico de 10 cm de diâmetro de base, executado com o trado à profundidade preestabelecida para o lançamento sub-superficial e protegido no fundo com 5 cm de pedregulho fino ($d = 5$ mm) e limpo. Nestes procedimentos destacam-se as seguintes vantagens:

- 1.º) facilidade e uniformidade de execução, aparelhamento e limpeza;
- 2.º) reduzido tempo de execução por unidade;
- 3.º) reduzida quantidade de água gasta em cada ensaio.

b) Quanto ao **número** de ensaios

A variabilidade da natureza do solo, o seu estado de umidade prévio ao ensaio e as imprecisões dos métodos de medida, são fatores incontroláveis cujos efeitos podem ser minimizados pela reprodução do ensaio. Esta a razão pela qual é recomendável que o número de poços não seja inferior a 10 por ha, uniformemente espaçados em áreas de solos relativamente homogêneos.

c) Quanto à **condição** do solo

A influência considerável das condições de umidade do solo revelam a necessidade de saturação prévia dos poços e subsequente expansão, obrigando a realização da prova pelo espaço de dois dias em três estágios, isto é:

- 1.º estágio — preparação do poço, inclusive enchimento e saturação com água, realizado no primeiro dia de trabalho;
- 2.º estágio — expansão noturna;
- 3.º estágio — realização das medidas no decurso do segundo dia consecutivo de trabalho.

Além disso, a situação da camada do solo impermeável e do lençol de água subterrâneo é capaz de introduzir falseamento de interpretação dos resultados dos ensaios, razão por que atenção especial deve ser dedicada ao exame destas duas condições do sub-solo local. Em **primeira aproximação**, deve-se estabelecer o

fundo do sistema da percolação a 1,00 m acima de horizontes impermeáveis ou do lençol aquífero.

d) Quanto à **expressão da velocidade de percolação**

A velocidade de percolação é dada no método de Ryon pela média dos valores verificados durante o ensaio; recentes investigações utilizando métodos estatísticos para tratamento dos dados obtidos, conduzem a uma melhor caracterização do que se deve entender por **condição de equilíbrio** do ensaio, e por conseguinte a uma expressão mais verdadeira da velocidade de percolação. (135)

Com efeito, o resultado das pesquisas mostraram que a velocidade de percolação decresce com o tempo, no decorrer do ensaio, em valores sempre decrescentes, o que conduziu Ludwig e associados (7b), a estabelecerem uma relação do tipo hiperbólico:

$$C = a + \frac{b}{t} \quad (3.1)$$

onde a e b são constantes que dependem da natureza e condições do solo local.

A equação (3.1) pode passar à forma:

$$C \times t = b + at$$

ou

$$I = b + at \quad (3.2)$$

em que I exprime o abaixamento do nível líquido no poço durante os ensaios.

A curva representativa da expressão (3.1) aparece na Fig. 3.2, sendo os ensaios realizados após a **saturação e expansão noturna**, que são condições prévias indispensáveis. Observa-se que a velocidade de percolação será praticamente constante para valores muito grandes de t, isto é, tende para o **equilíbrio** na fase final do ensaio, ou, para t infinito, C tende para o valor da assíntota.

Por essa razão o Serviço de Saúde Pública dos Estados Unidos, USPHS (116), recomenda referi-la pelo valor do último intervalo de tempo empregado no ensaio, ao contrário do valor médio de todo o ensaio preconizado originalmente, nos trabalhos de Ryon.

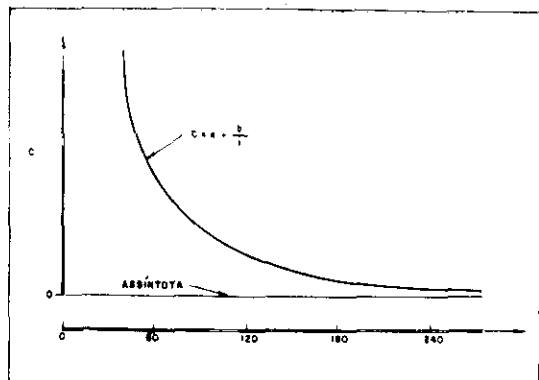


Fig. 3.2

A observância da técnica para determinação da velocidade de percolação na condição de equilíbrio é necessária em qualquer dos casos distintos em que se podem enquadrar os ensaios, a saber:

1.º caso: A água permanece no poço após expansão noturna.

Procedimento:

- a) ajusta-se o nível de água no poço até 0,15 m sobre o cascalho.
- b) registra-se com uma régua graduada, a partir de uma referência fixa, o nível de água que se observa no poço após um espaço de 30 minutos;
- c) calcula-se a velocidade de percolação a partir do valor encontrado.

2.º caso: A água desaparece completamente do poço após a expansão noturna.

Procedimento:

- a) adiciona-se água até atingir-se o nível de 0,15 m sobre o cascalho;
- b) mede-se o tempo de abaixamento do nível de água no poço em intervalos de 30 minutos, por um período de quatro horas, restabelecendo-se o nível inicial sempre que necessário;
- c) exprime-se a velocidade de percolação a partir da observação do último intervalo de 30 minutos.

3.º caso: A água infiltra-se totalmente em tempo inferior a 30 minutos após expansão noturna. (Solos arenosos).

Procedimento:

- a) procede-se ao ensaio com uma hora de duração e intervalo de 10 minutos entre medidas;
- b) calcula-se a velocidade de percolação a partir do abaixamento de nível de água que se verifica no último intervalo de 10 minutos.

Em qualquer desses casos, devem-se observar nos ensaios, simplicidade e rapidez de execução e a necessária precisão nas medidas.

Os tipos de dispositivos empregados com este fim, se agrupam em duas categorias principais, semelhantemente aos ensaios em laboratório com os permeâmetros: (135)

1.º) Medidas com o nível de água mantido constante;

2.º) Medidas com o nível de água variável.

Para as primeiras existem os aparelhos do tipo de bebedouro de aves, como mostra a Fig. 3.3 e que permitem leituras com aproximação de mm; para as últimas há os dispositivos providos de estíletes indicadores do nível livre do líquido, e as régua graduadas, que permitem as leituras por imersão na água contida nos poços.

A Fig. 3.4 mostra um tipo de medição empregando nas leituras a régua graduada, cujas características de simplicidade o recomendam na generalidade dos casos práticos.

3.4 Áreas de absorção

A partir dos ensaios de percolação realizados conforme as técnicas acima preconizadas, têm os investigadores procurado estimar a capacidade de um solo qualquer em absorver efluentes de fossas sépticas em campos de irrigação sub-superficial. O problema se tem apresentado de difícil equacionamento; só experimentações recentemente conduzidas trouxeram subsídios para seu esclarecimento, especialmente sobre a preponderante influência dos fatores de colmatção. (135)

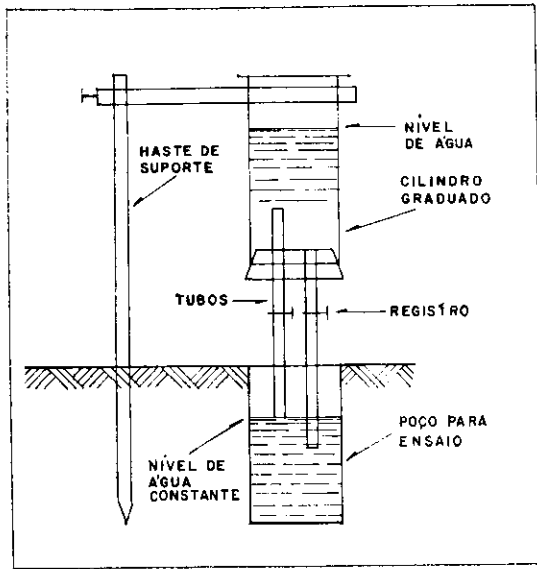


Fig. 3.3 — Dispositivo de medição do tipo de bebedouros de aves.

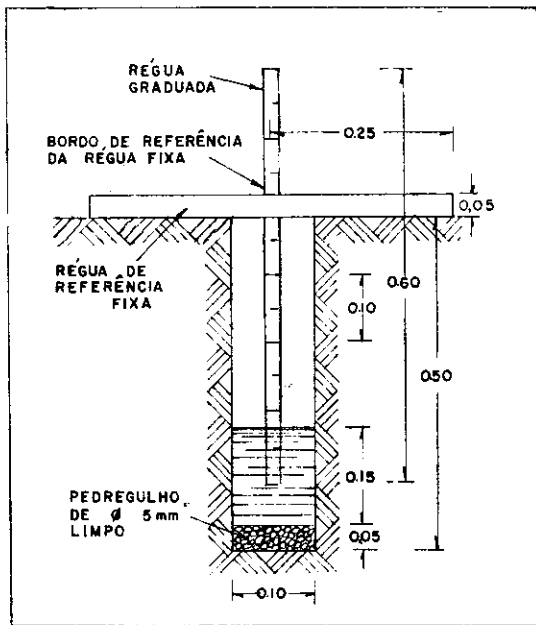


Fig. 3.4 — Dispositivo de medição com régua graduada imersa.

3.4.1 A colmatção

A colmatção do solo por efluentes de fossas sépticas pode ser de natureza física, isto é, decorrente dos sólidos nele introduzidos; química, ou provocada por alteração de composição de

seus constituintes; **biológica**, resultante de atividades de microorganismos diversos, ou finalmente, da ação combinada de todos esses fatores.

Com referência à primeira, verifica-se que a obstrução do solo, aumentando a resistência do movimento do líquido através os poros, é diretamente proporcional aos sólidos em suspensão no efluente; da segunda, ressaltam as permutas iônicas que estão intimamente relacionadas à qualidade química dos efluentes, especialmente de fossas sépticas, que têm mostrado concentrações salinas duas vezes superiores às águas afluentes, com acentuada influência na permeabilidade dos solos; nas últimas causas, citam-se os produtos do metabolismo bacteriano, cujas reações de caráter bioquímico dão lugar à formação de compostos que alteram a agregação das partículas e promovem a colmatção do solo, principalmente em condições de submersão, variáveis com o tempo.

Normalmente, têm os ensaios demonstrado, Fig. 3.5, que a colmatção física e química nos

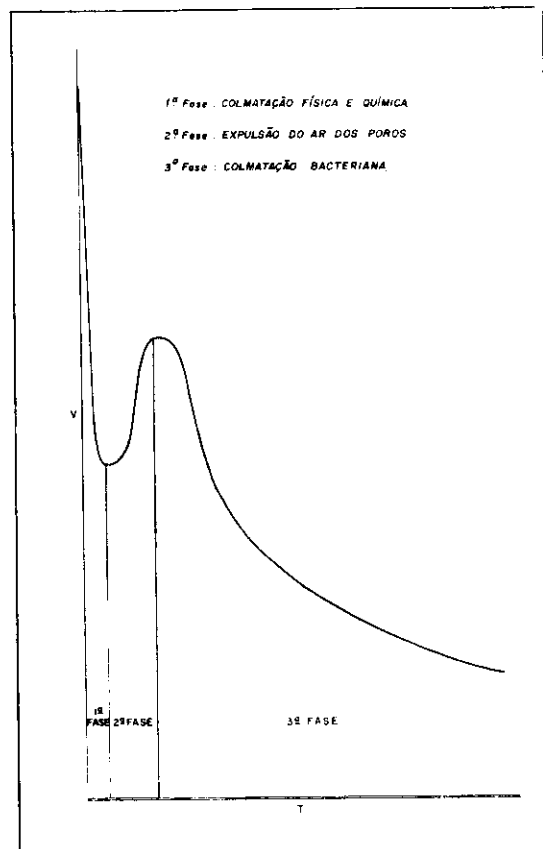


Fig. 3.5

horizontes superficiais do solo, têm lugar prioritariamente; a expulsão do ar dos interstícios melhora as condições de permeabilidade após os primeiros dias de aplicação; a seguir, a atividade microbiana entra em jogo, e tanto mais intensa seja ela, quanto menos pronunciada será a colmatção, principalmente se mantidas condições aeróbias.

3.4.2 Limitações do ensaio de percolação

A capacidade de absorção de efluentes de fossas sépticas nos solos, conforme a atuação mais ou menos intensa dos fatores de colmatção mencionados, é sensivelmente reduzida em relação às condições iniciais de trabalho, consoante verificado em ensaios com corpos de prova preparados e períodos dilatados de aplicação, bem como pelo resultado das pesquisas levadas a efeito em grande número de fossas sépticas em funcionamento. As reduções atingiram até 98% da velocidade de percolação determinada; chamando de x , cm/h, a velocidade de percolação do ensaio, o valor da velocidade de percolação y , dada também em cm/h, a considerar para os efluentes de fossas sépticas, seria $y = 0,02 x$, expressão conhecida como «Linha dos 2%», Fig. 3.6, cujos valores se situam do lado da segurança em relação aos de Ryon, entre os limites da velocidade de percolação de 2,5 a 15,0 cm/hora. Pelo Gráfico se verifica que os solos cujos ensaios revelaram velocidades de percolação de 5 cm/hora, não devem receber efluentes de fossas sépticas acima de 0,1 cm/hora. Ludwig (79) empregando o seu método de equilíbrio para determinação da velocidade de percolação, atribue a y o valor de 5% de x , relativamente à generalidade dos casos.

As reduções que se observam nas taxas de absorção de efluentes de fossas sépticas em relação aos ensaio de percolação se devem essencialmente, ao que se passa na chamada **zona de colmatção**. O comportamento dessa fina camada interfacial, que se forma entre a fase líquida e a fase sólida, motivo de recentes investigações (82, 83), é definidor do problema. Com efeito, para o curto espaço de tempo em que se desenvolve o ensaio, a velocidade de percolação que é função das características granulométricas, exprime apenas a capacidade real de transporte de água pelo solo, mas não revela o que se passará na zona de penetração, principalmente com a modificação da natureza do líquido,

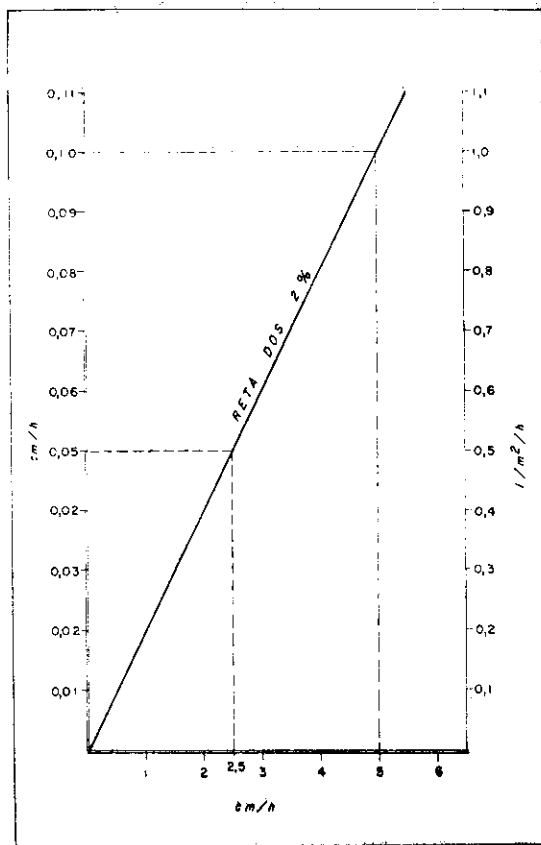


Fig. 3.6

do, isto é, não define a velocidade de infiltração, que é, por sua vez, função das características colmatantes. Essa a mais importante limitação do ensaio de percolação, que deverá ser interpretado apenas, como indicador da capacidade de escoamento de água em um determinado solo e, conseqüentemente, da exequibilidade do sistema da irrigação sub-superficial. E para isso, é imprescindível levar-se em conta, paralelamente, todos os outros dados de reconhecimento e avaliação do solo, já referidos.

3.4.3 Estimativa das áreas de absorção

O dimensionamento do sistema de absorção de efluentes de fossas sépticas no solo tem-se baseado nas **cargas** aplicáveis por unidade de área a partir de velocidade de percolação permitível. Para isso, considera-se o poço padrão dos ensaios de percolação com 10 cm de diâmetro e área de fundo igual a 78,5 cm². Segundo

esse procedimento a tabela 3.1 dá as cargas aplicáveis em 1/m²/hora e 1/m²/dia em decorrência do uso dos valores da «Linha dos 2%»; a tabela 3.2 permite uma comparação entre as cargas da tabela 3.1 e os resultantes do emprego das fórmulas do USPHS (116) e de Kiker (70, 71), respectivamente:

$$Q = 203 / \sqrt{t} \quad 1/m^2/dia \text{ (USPHS)}$$

$$Q = 1180 / (6.24 + t) \quad 1/m^2/dia \text{ (Kiker)}$$

Aparecem ainda na Tabela 3.2 os valores obtidos pelo processo de Ludwig.

As velocidades de percolação são consideradas a partir do limite mínimo de 2,5 cm/h ou $7,0 \times 10^{-4}$ cm/seg abaixo do qual a difícil permeabilidade do solo, segundo a classificação do Quadro 3.1, torna desaconselhável a sua utilização para área de absorção.

TABELA 3.1

Velocidade de percolação cm/hora	Carga aplicável (linha de 2%)	
	1/m ² /hora	1/m ² /dia
1	0.2	4.8
2.5	0.5	12.0
5	1	24.0
7.5	1.5	26.0
10	2.0	48.0
15	3.0	72.0
30	6	144.0
50	10	240.0
75	15	360.0
150	30	720.0

TABELA 3.2

Ensaio de percolação			Carga aplicável em 1/m ² /dia (efluentes de fossas sépticas)						
Tempo t (1)	Velocidade v (2)		Carga q (3)	Linha de 2% (4)	USPHS (5)		Kiker (6)		Ludwig (7)
	Min. (por pol.)	pol./h			cm/h	1/m ² /dia	%	1/m ² /dia	
60	1	2,5	600	12	26	4,3	18	2,9	30
30	2	5,0	1200	24	37	3,1	34	2,9	60
20	3	7,5	1800	36	45	2,5	45	2,5	90
15	4	10	2000	48	52	2,6	54	2,7	100
12	5	12,5	3000	60	59	1,9	63	2,1	150
18	6	15	3600	72	64	1,8	72	2	180
5	12	30	7200	144	91	1,2	104	1,5	360
4	15	38	9100	183	101	1,1	114	1,2	450
3	20	50	12000	240	118	1,0	124	1,0	600
2	30	75	18000	360	144	0,8	143	0,8	900
1	60	150	36000	720	203	0,6	162	0,45	1800

(3) Referida à área de fundo do poço padronizado de 0,10 m de diâmetro.
 $[(3,14 \times 0,1^2) \div 4 \times 0,025] + [(3,14 \times 0,1^2) \div 4] = 0,6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ ou 600 1/m²/dia.

(4) (Velocidade de percolação determinada pelo método do USPHS.) 2% 600 = 12

(5) e (6) Porcentagem (%) sobre a carga do ensaio (3):
 $(26 \div 600) \times 100 = 4,3\%$; $(18 \div 600) \times 100 = 2,9\%$

(7) (Velocidade de percolação determinada pelo método de Ludwig) 5% 600 = 30

O critério da área de fundo do poço padronizado tomada como base para cálculo das cargas aplicáveis deve ser encarado com precaução, pois a infiltração se dá também pelas superfícies laterais do solo em direto contato com o líquido e varia para qualquer dos principais sistemas de absorção conhecidos, de acordo com recentes investigações. No caso das valas de absorção, a capacidade de infiltração da área de fundo é relativamente pequena, mas a relação da área lateral para a área de fundo é grande o que se constitui em vantagem a ser sempre observada no seu dimensionamento; no caso dos leitos de absorção, a relação da área lateral para a de fundo é pequena e a capacidade de infiltração da área lateral é desprezível, assemelhando-se o sistema a uma bacia de absorção sub-superficial. Por outro lado, como já se disse, as áreas do sub-solo consideradas para campo de irrigação não devem ficar sujeitas a encharcamento ou submersão para assegurar-se condições favoráveis à atividade bacteriana aeróbia. Assim sendo, a alimentação do sistema deve preferencialmente, processar-se de modo intermitente, com período de repouso nunca inferior a 50% do tempo total de serviço, diariamente. Em sistemas pequenos, a natureza da descarga das instalações sanitárias podem atuar como mecanismo de dosagem.

Na avaliação das áreas de absorção pelas cargas aplicáveis, é preciso pois, ter presente estes fatos, que conduzem a critério mais realista de cálculo e a preconização de uma técnica simples de dosagem intermitente das valas de absorção, projetadas para permitir a distribuição alternada do volume de efluentes a serem tratados diariamente.

3.4.4 Vida do sistema de absorção

Pela caracterização das variáveis que entram no problema da transmissão dos efluentes de fossas sépticas no solo através a zona de colmatção, foi possível a investigadores do RAT-SEC (127, 128), obter o tempo de **vida** do sistema de irrigação sub-superficial, e com isso, melhor caracterizar-se os seus aspectos econômicos.

Com efeito, designando por A a área total de absorção em uso no tempo t, e por Q a vazão total aplicada sobre a mesma área, que é dependente do número de pessoas da habitação, da natureza do esgoto, da eficiência do tratamento conseguido na fossa séptica e no meio envolvente ao sistema de irrigação antes do líquido entrar em contato com o solo, o desenvolvimen-

to da formulação matemática da questão conduz à seguinte expressão final:

$$A = \frac{1}{k} \cdot \frac{Q}{L} + \frac{Q}{L} t \quad (3.3)$$

onde k e L são parâmetros relativos ao solo em questão, isto é, k é uma taxa constante de reação do solo verificada em determinado período e L, o volume limite de líquido que será absorvido por unidade de área; o produto $R = kL$ representará precisamente, a taxa inicial de transmissão do líquido no solo.

A equação (3.3) para um determinado valor de Q em um solo qualquer, é uma linha reta relacionando A e t, isto é:

$$A = a_1 + a_2 t \quad (3.4)$$

A grandeza $a_1 = \frac{Q}{kL}$ representa a área

necessária para conseguir-se a situação inicial denominada de «quase equilíbrio» entre o líquido aplicado e o que é percolado, antes que se manifeste colmatção do solo; a grandeza

$a_2 = \frac{Q}{L}$ significa a área necessária em cada

espaço de tempo considerado, para fazer face à que foi colmatada.

A equação (3.3) também pode ser escrita sob a forma:

$$A = \frac{Q}{kL} (1 + kt) \quad (3.5)$$

$$\text{ou} \quad \frac{A}{Q} = \frac{1}{kL} (1 + kt)$$

Chamando $R = \frac{Q}{A}$, vem:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{kL} + \frac{t}{L} \quad (3.6)$$

A aplicação prática da fórmula fica na dependência da determinação dos valores de k e L para cada caso em particular. Um método usual consiste em encontrar-se a taxa média de transmissão, obtendo-se seus valores aparentes

QUADRO 3.1

Velocidade de percolação cm/h	Absorção relativa	Tipo de solo	Método de destino
50 a 150	Muito permeáveis (rápida absorção)	Pedregulho e Areia Grossa	Poços, valas ou leitos de absorção (Irrigação sub-superficial)
30 a 50	Permeabilidade média (absorção média)	Areia fina	Idem
15 a 30	Permeabilidade baixa (lenta absorção)	Areias muito finas e siltes	Idem
2,5 a 5	Permeabilidade muito baixa	Argilas misturadas com areias finas e siltes	Outros métodos de destino
Abaixo de 2,5	Impermeável	Argilas e formações rochosas	Idem

$$R_t = \frac{Q}{A}$$

, dividindo as vazões médias apli-

cadadas por um período determinado de uso, pelas áreas totais de absorção de cada um dos diversos sistema em funcionamento em um tipo de solo; aos valores assim obtidos e plotados, ajusta-se uma linha reta cujas interseções com os eixos coordenados oferecem R_t e t da equação (3.6), o que permite consequentemente, a obtenção dos valores de $k = R_t + L$ e $L = R_t t$.

As equações obtidas para cada caso particular são assim, um meio prático de avaliação da vida de um sistema de absorção qualquer em relação à área disponível para sua implantação.

4. PRÁTICA DE AVALIAÇÃO DE UM SOLO PARA ABSORÇÃO DE EFLUENTE DE FOSSA SÉPTICA

A realização de um trabalho prático segundo o roteiro descrito para avaliação qualitativa e quantitativa de um solo destinado a campo de absorção de efluente de fossas sépticas, tornou-se viável graças a estudos anteriormente realizados pelo Instituto de Economia e Experimentação Agrícolas, do Ministério da Agricultura, no Estado do Rio de Janeiro. (33)

4.1 O solo da área selecionada para o trabalho conforme se vê na Fig. 3.1, tem os seguintes caracteres pedológicos:

Grande Grupo de Solos: Podzólico Vermelho Amarelo (RYP)

Série: Itaguaí

Tipo: Itaguaí arenoso.

O perfil se apresenta com os horizontes indicados no Quadro 4.1; na Fig. 4.1 aparecem numa trincheira escavada no solo, os horizontes A_p (horizonte superficial arado, conforme designação local), A_2 , A_3 e B_1 .



Fig. 4.1

4.2 As características granulométricas, de consistência e cor dos diversos horizontes do perfil, o seu enquadramento na Classificação Unificada e relativa adequação aos sistemas de irrigação sub-superficial de esgotos sanitários estão resumidas no Quadro 4.2.

QUADRO 4.1

Horizonte	Espessura	Observações
A _p	0- 15	Camada arada superficial Transição abrupta
A ₂	15- 22	Transição gradual
A ₃	22- 42	Transição gradual
B ₁	42- 92	Transição gradual
B ₂	91-122	Transição gradual
C ₁	122-144	—

4.3 O solo da área considerada revelou qualitativa e quantitativamente os índices físicos, químicos e microbiológicos dos Quadros 4.3 a 4.6 em dois grupos de amostras de solo dos horizontes A e B da Série, sendo as análises de laboratório levadas a efeito pelo Instituto de Economia e Experimentações Agrícolas, utilizando as técnicas apropriadas.

O solo se apresenta com pH na faixa ácida, sendo relativamente pequenas as diferenças entre os diversos sub-horizontes até a profundidade de 0,50 m, com o mínimo no sub-horizonte A₃, enquanto que os teores de carbono, C, observam maior regularidade nos decréscimos com a profundidade, do que os de nitrogênio, N; para este, os resultados mostram valores mais altos no sub-horizonte A₃, isto é, entre 0,20 m e 0,40 m da superfície, onde a relação C:N é aproximadamente, 9:1.

No tocante às bactérias, o seu número decresce sensivelmente do A_p para o B₁, encontrando-se no sub-horizonte B₁, entre 0,40 m e 0,60 m, apenas 8% do total por grama de solo (em consonância com os dados do Quadro 2.4),

fato que conduz a uma preferência para valas de irrigação sub-superficial com profundidades em torno de 0,50 m. No sub-horizonte B₁ a ordem de grandeza do número de bactérias é ainda de 1 a 2 × 10⁵ por grama de solo. No gráfico da Fig. 4.2 aparecem relacionados pH, C, N e número de bactérias pelos diversos sub-horizontes e pelo qual se constata maior concentração de C, na superfície, e de N, no sub-horizonte A₃, onde o pH é mais baixo. A concentração bacteriana decresce progressivamente a partir de A_p para B₁, tendendo para um mínimo, à medida que se aprofunda para o horizonte C.

4.4 Os caracteres do solo da área considerada, com o horizonte A e sub-horizonte B₁ classificados no Grupo 2 de adequação e horizonte B₂ impermeável, com condições de vida favoráveis até 0,50 m da superfície, aliados à boa drenagem externa e à posição do lençol aquífero, não situado normalmente a pequena profundidade (maior do que 2,0 m), recomendaram a execução de ensaios de permeabilidade para sua mais perfeita avaliação.

4.5 Ensaios de percolação

A área em estudo é praticamente plana e tem vegetação rasteira com árvores de porte distanciadas uma das outras, conforme se vê na Fig. 4.3; foi dividida de acordo com o esquema da Fig. 4.4, em forma de um retângulo, com nove poços espaçados, em um sentido, de 3,0 m em 3,0 m, e no outro, de 10,0 m em 10,0 m e com suave declive de P₁, P₂, P₃ para P₇, P₈, P₉. Dois grupos de ensaios foram realizados: o 1.º, no verão, em 9 de janeiro de 1963, após uma semana com 16,9 mm de chuva, sendo 5,0 mm no dia 8, e o 2.º, no inverno, em 22 de junho de 1963, depois de sete dias com uma precipitação total de 2,2 mm; no 2.º Grupo os poços ficaram afastados de 1,0 m dos do 1.º Logo após as chuvas intensas de janeiro de 1963, constatou-se encharcamento do solo, provocado pela elevação do lençol aquífero acima do horizonte B₂. No preparo dos poços utilizou-se a técnica preconizada, tomando-se-os todos com 0,50 m de profundidade no 1.º Grupo e 0,60 m no 2.º, e 0,05 m de pedregulho de 5 mm de diâmetro no fundo.

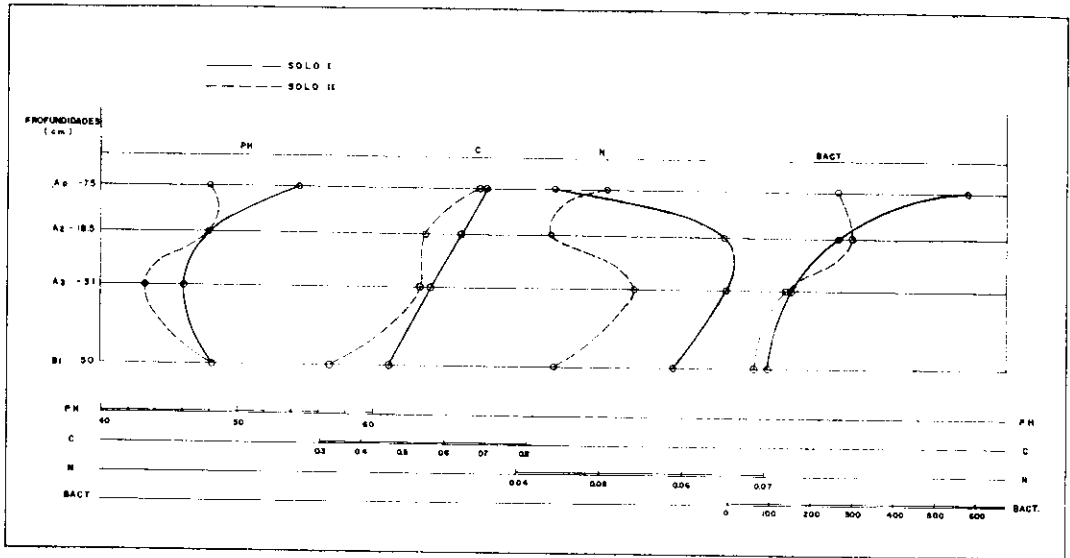


Fig. 4.2



Fig. 4.3 — Vista da área estudada.

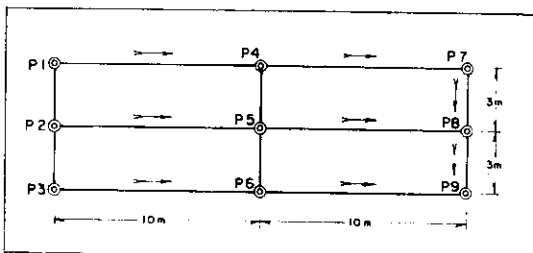


Fig. 4.4 — Posição relativa dos poços.

Empregou-se nos ensaios, o método das medidas com a régua graduada, podendo-se observar aspectos dos trabalhos de campo nas Figs. 4.5 a 4.12. O 1.º grupo de resultados, aparece no Quadro 4.7 e o 2.º grupo, no Quadro 4.8.

As velocidade de percolação do 1.º grupo para cada poço obtidas pelo emprego do último intervalo de tempo do ensaio, conforme o método do USPHS, são os seguintes:

Poços	Velocidades
P ₁	v ₁ = 1,0 cm/h
P ₂	v ₂ = 0,8 cm/h
P ₃	v ₃ = 1,6 cm/h
P ₄	v ₄ = 2,0 cm/h
P ₅	v ₅ = 1,6 cm/h
P ₆	v ₆ = 1,6 cm/h
P ₇	v ₇ = 0,8 cm/h
P ₈	v ₈ = 1,4 cm/h
P ₉	v ₉ = 2,0 cm/h

Estes valores fornecem:

Média aritmética: M = 1,4 cm/h
 Desvio padrão: σ = 0,38 cm/h
 Faixa de variação: 0,8 a 2,0 cm/h

As velocidades de percolação para o 2.º grupo, relativas a cada poço, são as seguintes:

Poços	Velocidades
P ₁	v ₁ = 0,9 cm/h
P ₂	v ₂ = 1,8 cm/h
P ₃	v ₃ = 1,8 cm/h
P ₄	v ₄ = 0,5 cm/h
P ₅	v ₅ = 0,5 cm/h
P ₆	v ₆ = 0,9 cm/h
P ₇	v ₇ = 1,0 cm/h
P ₈	v ₈ = 0,2 cm/h
P ₉	v ₉ = 8,4 cm/h

Despresando-se os valores dos poços P₈ e P₉, por apresentarem grande discrepância, resultam:

Média aritmética: $M = 1,05$ cm/h
 Desvio padrão: $\sigma = 0,53$ cm/h
 Faixa de variação: 0,5 a 1,8 cm/h

Os valores calculados pelo ajustamento a olho de uma linha aos pontos plotados (método de Ludwig), relativamente aos poços P₂, P₈ e P₉, do 1.º Grupo (Fig. 4.13) e P₂, P₇, P₈ e P₉ do 2.º Grupo (Fig. 4.14) se seguem:

1.º Grupo	2.º Grupo
P ₂ — 0,6 cm/h	P ₂ — 2,1 cm/h
P ₈ — 1,2 cm/h	P ₇ — 1,0 cm/h
P ₉ — 1,8 cm/h	P ₈ — 0,75 cm/h
	P ₉ — 7,0 cm/h

De um modo geral, os resultados obtidos pelos dois métodos considerados apresentam valores aproximados (em torno de 10%), exceto quanto aos poços P₈ e P₉, que já foram acima desprezados para o cálculo da média.

A baixa velocidade média de percolação observada e a natureza da camada subjacente ao fundo dos poços, são de molde a concluir-se pela fraca adequação da área para fim de irrigação sub-superficial de efluentes de esgotos domésticos; além disso, é sensível a variabilidade nas condições de permeabilidade do solo em área relativamente pequena, manifestada pelos dois grupos de ensaios dos diferentes poços, o que confirma notavelmente um fator anteriormente salientado.



Fig. 4.5



Fig. 4.6

Poço tipo escavado com o trado de 100 mm.



Fig. 4.7



Fig. 4.8



Fig. 4.9

Poço n.º 4: primeiro grupo de ensaios.



Fig. 4.10



Fig. 4.11



Fig. 4.12

Poço n.º 2: segundo grupo de ensaios.

4.6 Exemplo de dimensionamento.

Para exemplificar o dimensionamento de um sistema de irrigação sub-superficial, não obstante as contra-indicações constatadas, considerar-se-á para a área selecionada o emprego de valas e leitos de absorção. Admitindo-se para o tipo de habitação local, uma escala de consumo de água de 50, 100, 150 e 200 litros diários e cinco habitantes por moradia, em média, o Quadro 4.9 é organizado, com base na velocidade média de percolação de 1,4 cm/h e uma carga máxima de 0,28 l/m²/h, ou 6,6 l/m²/dia, conforme o gráfico da Fig. 3.6.

Assim, por exemplo, uma casa com um consumo total de água diário de 500 litros necessária, para destino dos efluentes de uma fossa séptica, no solo em estudo, de uma área de absorção de $500 : 6.6 \simeq 75 \text{ m}^2$.

As **valas de absorção** com 0,60 m de largura terão para comprimento necessário:

$$75 : 0.6 = 125 \text{ m}$$

que podem ser distribuídos por 8 valas de 15,0 m cada, espaçadas de 2,0 m de eixo a eixo, Fig. 4.15, alimentados através um dispositivo simples e econômico, mas que assegure o repouso do campo de irrigação 50% do tempo. A área total destinada ao campo seria de:

$$8 \times 2 \times 15 = 240 \text{ m}^2$$

que corresponde, como é usual, a cerca de três vezes a área útil de absorção.

Se em lugar de **valas**, forem adotados **leitos de absorção** com 1,80 m de largura, o comprimento adequado para duas trincheiras será 20,50 m

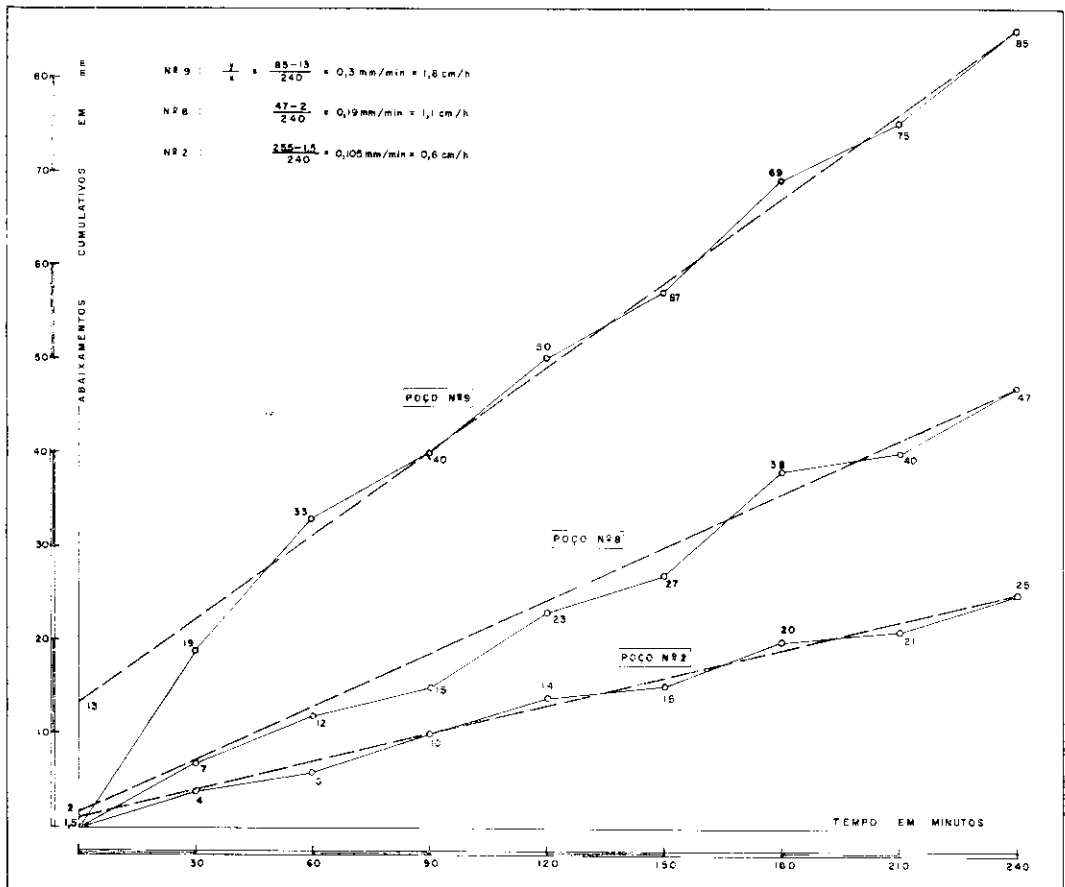


Fig. 4.13

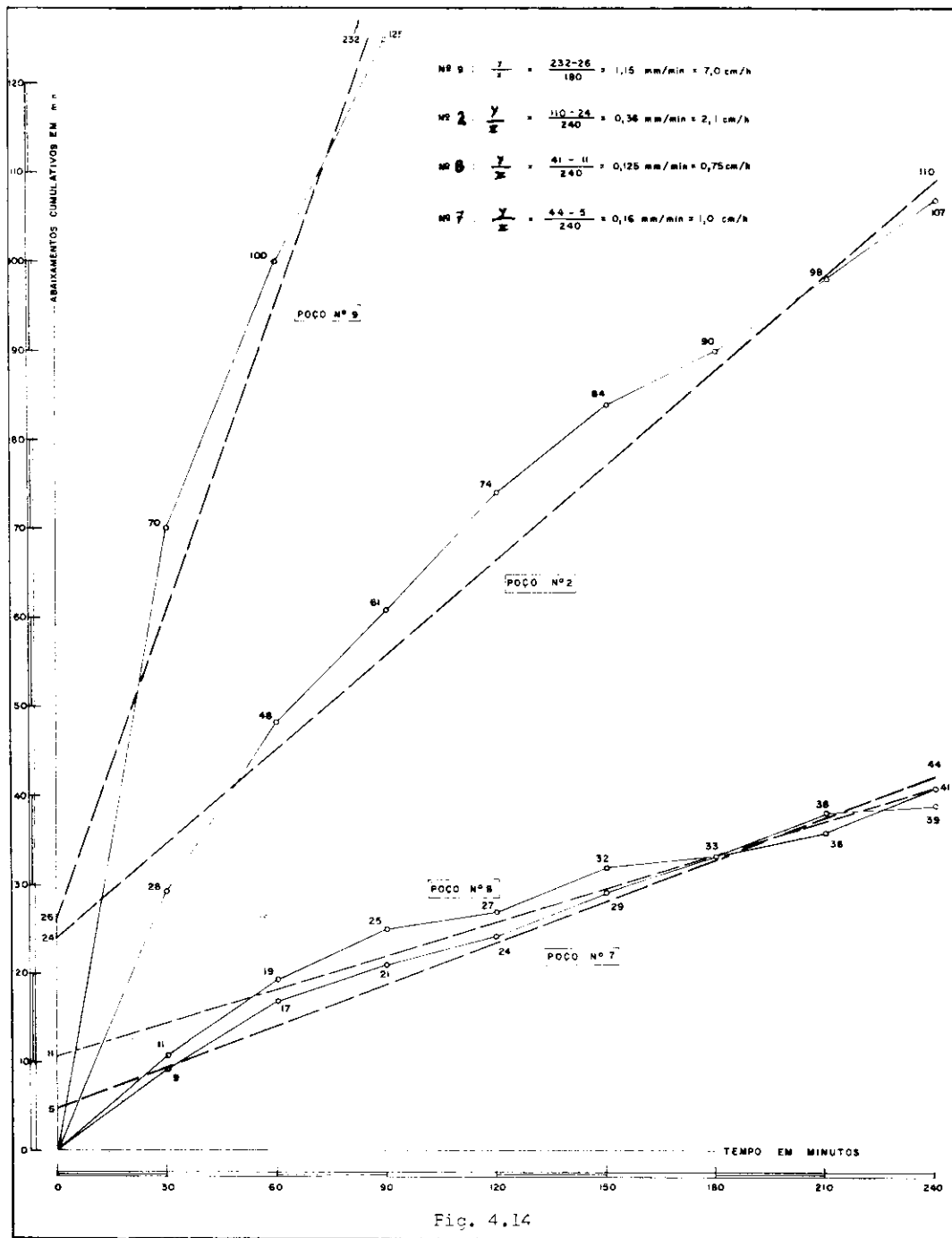


Fig. 4.14

Fig. 4.14

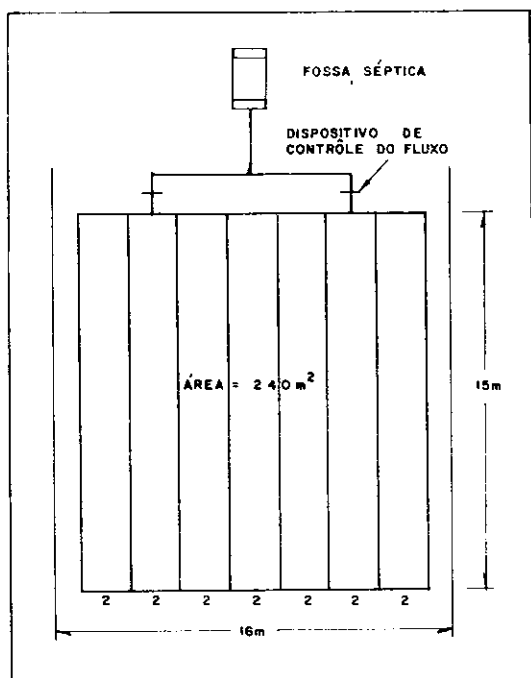


Fig. 4.15

e a área total do campo, 111 m², conforme mostra a Fig. 4.16.

Para solos com os caracteres dos da série de Itaguai, com velocidade de percolação da ordem de 1,4 cm/h e efluentes de fossas sép-

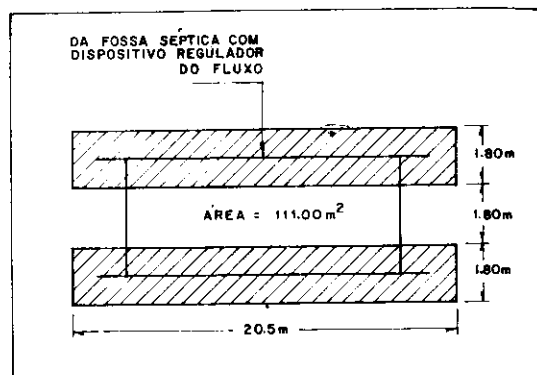


Fig. 4.16

licas recebendo contribuição de esgotos domésticos de habitações de 5 pessoas, à base de 100 litros «per capita», a equação (3.3) é a seguinte:

$$A = 21,6 + 2,02 t \text{ m}^2.$$

Para 75 m² de área de absorção, a vida do leito seria de:

$$t = (75 - 21,6) : 2,02 = 25 \text{ anos}$$

A vida do leito reduzir-se-á para 9 anos se for de 40 m² a área disponível; seria aumentada para 39 anos se a área disponível fosse de 100 m². Estes dados são muito úteis para as estimativas de custo do sistema, ainda que se devam levar em conta as condições de repouso do campo de irrigação sub-superficial.

QUADRO 4.2

Horizonte	Textura	Estrutura	Consistência	Cor	Classificação unificada	
					Símbolo	Adequação
A _p	Arenosa	Granular grosseira	Não plástico	Pardo	SM	2
A ₂	Areno-argilosa	Granular média	Medianamente plástico	Pardo escuro	SC	2
A ₃	Argilo arenosa	Granular	Plástico	Pardo	CL	2
B ₁	Argilosa	Nuciforme	Plástico	Vermelho amarelado	CI ou CL	2
B ₂	Argilosa	Nuciforme	Muito plástico	Vermelho amarelado	CL ou CH	NS
C ₁	Francamente argilosa	Nuciforme	Muito plástico	Amarelo avermelhado	CH	NS

QUADRO 4.3
Análises químicas

S O L O I							
Horizonte	Espessura cm	pH	C g/100 g	C % total	N g/100 g	N % total	C/N
A _p	0-15	4.8	0.692	30	0.051	26	15,5
A ₂	15-22	4.8	0.549	26	0.044	22	12,3
A ₃	22-40	4.6	0.540	26	0.054	30	9,1
E ₁	40-60	4.8	0.311	18	0.044	22	8,4

QUADRO 4.4
Análises químicas

S O L O I I							
Horizonte	Espessura cm	pH	C g/100 g	C % total	N g/100 g	N % total	C/N
A _p	0-15	5.5	0.702	25	0.044	15	16,9
A ₂	15-22	4.8	0.639	23	0.065	22	9,8
A ₃	22-40	4.3	0.565	20	0.065	20	8,6
B ₁	40-60	4.4	0.462	17	0.059	20	7,8
B ₁ , B ₂	60	4.6	0.424	15	0.059	20	7,2

QUADRO 4.5
Exame Microbiológico

S O L O I						
Bactérias × 2000 por grama de solo						
Horizontes	Determinações				Média	% total
A _p	181	247	356	268	263	34
A ₂	200	208	236	540	296	38
A ₃	206	190	94	85	144	19
B ₁	63	55	68	70	64	8
Streptomices × 1000 por grama de solo						
A _p	373	324	395	325	354	30
A ₂	390	410	476	398	418	35
A ₃	186	390	356	294	306	26
B ₁	83	95	105	93	94	8

QUADRO 4.6
Exame Microbiológico

S O L O I I						
Bactérias × 1000 por grama de solo						
Horizontes	Determinações				Média	% total
A _p	509	413	580	806	577	49
A ₂	351	109	313	311	271	23
A ₃	142	163	158	149	153	13
B ₁	101	96	89	86	93	8
B ₁ , B ₂	71	70	80	69	72	6
A _p	889	906	1216	1519	1132	49
A ₂	553	478	726	366	531	23
A ₃	196	189	197	201	195	9
B ₁	176	254	275	239	236	10
B ₁ , B ₂	212	148	141	198	174	8

QUADRO 4.7

Poço n.º	Profundi- dade m	Tempo min	Abaixamentos de nível		Observações
			h_{mm}	Δh_{mm}	
1	0,50	30	5		Permaneceu água no poço após o período de expansão noturna.
2	0,50	30	4		Escoou-se toda a água durante o período de expansão noturna.
		60	6	2	
		90	10	4	
		120	14	4	
		150	15	1	
		180	20	5	
		210	21	1	
		240	25	4	
3	0,50	30		8	Permaneceu água no poço após o período de expansão noturna.
4	0,50	30		10	Idem
5	0,50	30		8	Idem
6	0,50	30		8	Idem
7	0,50	30		4	Idem
8	0,50	30	7		Escoou-se toda a água durante o período de expansão noturna.
		60	12	5	
		90	15	3	
		120	23	8	
		150	27	4	
		180	38	11	
		210	40	2	
		240	47	7	
9	0,50	30	19		Idem
		60	33	14	
		90	40	7	
		120	50	16	
		150	57	1	
		180	69	12	
		210	75	6	
		240	85	10	

QUADRO 4.8

Poço n.º	Profundi- dade m	Tempo min	Abaixamentos de nível		Observações
			h_{mm}	Δh_{mm}	
1	0,60	30	4,5	—	Permaneceu água no buraco após o período de expansão noturna.
2	0,60	30	28	—	Escoou-se toda a água durante o período de expansão noturna.
		60	48	20	
		90	61	13	
		120	74	13	
		150	84	10	
		180	90	6	
		210	98	8	
240	107	9			
3	0,60	30	9	—	Idem n.º 1
4	0,60	30	2,5	—	Idem n.º 1
5	0,60	30	2,5	—	Idem n.º 1
6	0,60	30	4,5	—	Idem n.º 1
7	0,60	30	9	9	Escoou-se toda a água durante o período de expansão noturna.
		60	17	8	
		90	21	4	
		120	24	3	
		150	29	5	
		180	33	4	
		210	36	3	
240	41	5			
8	0,60	30	11	11	Idem
		60	19	8	
		90	25	6	
		120	27	2	
		150	32	5	
		180	33	1	
		210	38	1	
240	39	1			
9	0,60	30	70		Idem
		60	100	30	
		90	125	25	
		120	160	35	
		150	190	30	
		180	232	42	
210	—	—			

QUADRO 4.9

Per capita l/dia	N.º de habitantes	Volume diário	Velocidade percolação	Carga máxima l/m ² /dia	Área m ²) (aproximada)
50	5	250	1.4	6.6	37.5
100	5	500	1.4	6.6	75
150	5	750	1.4	6.6	100
200	5	1000	1.4	6.6	150

5. CONCLUSÃO

O estudo feito sobre o tratamento e destino de esgotos da habitação rural ou suburbana, com o emprego de sistemas de fossas sépticas e campos de irrigação sub-superficial, dá lugar a algumas conclusões essenciais e práticas: elas dizem respeito às condições do solo e natureza do esgoto, aos requisitos de dimensionamento e de construção do sistema e aos cuidados no uso e na supervisão técnica e fiscalização dos órgãos sanitários.

1.º Quanto ao solo

A adequação do solo ao sistema não pode ser definida senão mediante averiguação de todas as características qualitativas e quantitativas. Em relação às primeiras, é indispensável a verificação das características granulométricas e pedológicas e levantamento dos diversos fatores influentes na constituição, conformação e desenvolvimento do solo local; sobre as últimas, é necessário ter-se presente as limitações e causas de erro do ensaio de percolação, que estão sujeitos a sensível variabilidade e não revelam o que se passa na chamada zona de colmatação. Os dois grupos de ensaios de campo realizados permitem compreender-se o interesse e a magnitude dessa variabilidade.

2.º Quanto ao esgoto bruto e tratado

O esgoto proveniente da habitação é peculiar, não só qualitativa como quantitativamente, o que define o dimensionamento da fossa séptica e do campo de irrigação sub-superficial.

O tratamento primário conseguido na fossa séptica pode oferecer grau satisfatório de eficiência em termos de remoção de sólidos em

suspensão e demanda bioquímica de oxigênio (DBO, 5 dias, 20°C), condicionando o esgoto bruto para um tratamento secundário, por oxidação.

O efluente tratado e os lodos digeridos são geralmente, ofensivos e perigosos do ponto de vista sanitário, isto é, no seu conteúdo de microorganismos patogênicos e ovos de parasitos intestinais.

3.º Quanto ao dimensionamento e à construção

Os requisitos de simplicidade e economia devem presidir ao projeto de um sistema de fossas sépticas, em virtude de suas precípuas finalidades.

A capacidade de todas as unidades componentes do sistema de tratamento e destino, isto é, da fossa séptica e da rede de irrigação sub-superficial, é o mais importante requisito do projeto, devendo-se considerar a conveniência do repouso do campo de irrigação com construção de redes para funcionamento alternado.

A estimativa da vida do campo de irrigação sub-superficial é um recurso útil para avaliação econômica do sistema.

As valas de absorção, que têm sido adotadas desde os trabalhos pioneiros de Ryon, devem ser construídas preferencialmente, estreitas, de modo a assegurar-se uma relação grande entre a área das paredes laterais para a do fundo.

Os trabalhos de construção das valas ou dos leitos de absorção devem assegurar o mínimo de perturbação do solo; sabe-se, neste respeito, que a construção cuidadosa não melhora as suas condições, mas um bom solo pode ser completamente arruinado em suas características de absorção na zona interfacial, por métodos e

práticas de construção impróprias, especialmente as que dizem respeito ao preparo das paredes internas das valas e leitos e seu recobrimento e compactação final.

4.º) Quanto ao uso

A fossa séptica atua, no sistema estudado, como meio de condicionamento dos esgotos da habitação para seu destino no solo, sub-superficialmente. Do seu bom funcionamento e dos cuidados que se lhe dispensarem depende, portanto, a sua vida e a do campo de irrigação; para isso, é necessário primordialmente, sejam evitadas pelos usuários, contribuições momentâneas extraordinárias que perturbem a zona livre da fossa, bem como asseguradas limpezas periódicas de acordo com os valores fixados pelo dimensionamento. Em outras palavras, não se devem sobrecarregar a fossa e a rede de absorção, pois quaisquer que sejam as suas características, são passíveis de mau funcionamento e perda completa do sistema.

5.º) Quanto às medidas disciplinadoras e educativas

Os delicados problemas de ordem técnica que cercam a realização e uso dos sistemas de fossas sépticas, apreciados no presente trabalho, indicam por si mesmos, a necessidade de que órgãos aparelhados de engenharia sanitária sejam os responsáveis diretos pela sua supervisão e fiscalização e capazes de manter programas educacionais simples e objetivos para os usuários das instalações, quer a habitação esteja situada no meio rural, quer nas zonas suburbanas das cidades.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. ALEXANDER, Gordon — *An outline of general biology*. 4th ed. New York, Barnes & Noble, 1942. 220 p.
2. ALLISON, L. E. — Effect of microorganisms on permeability of soil under prolonged submergence. *Soil Science*, 63:439-50, 1947.
3. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Committee D-18 on Soils for Engineering Purposes — *Procedures for testing soils*. Philadelphia, 1958. 544 p.
4. ANSARI, Mohammad Y. — Septic tanks. *Environmental Health*, Nagpur, 4(2):91-5, Apr. 1962.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, São Paulo — *Fossas Sépticas. Cimento e Concreto*; *Bol. de Inform.*, São Paulo, (28):129-36, 1953.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro — *Construção e instalação de fossas sépticas*. *Bol. A.B.N.T.*, Rio de Janeiro, 8(54):21-39, jan./fev. 1961.
7. ——— — *Normas para construção e instalação de fossas sépticas; projeto de norma*. Rio de Janeiro, 1960. 12 p.
8. ——— — *Norma para construção e instalação de fossas sépticas*. Rio de Janeiro, 1963. 21 p.
9. ——— — *Solos e pavimentações; normas brasileiras*. Rio de Janeiro, 1958. 94 p.
10. ASSOCIAÇÃO AMERICANA DE SAÚDE PÚBLICA, New York — *Profilaxia das doenças transmissíveis*. 9.ª ed. Washington, Org. Mundial de Saúde, 1952. 292 p. (Publicações Científicas, 51)
11. AZEVEDO NETTO, José M. de — Curso de tratamento de águas residuárias; cap. 7. *Rev. D.A.E.*, S. Paulo, 24(51):54-63, dez. 1963.
12. ——— — O destino das águas de esgoto de prédios escolares situados em zonas desprovidas de coletores sanitários. *Engenharia*, S. Paulo, 7(83), jul. 1949.
13. ——— — *Glossário inglês-português de termos técnicos relativos a tratamento de águas de abastecimento e residuárias*. São Paulo, Repart. Águas e Esgotos S. P., Univ. S. Paulo, 1954. 24 p.
14. BABBITT, Harold E. — *Plumbing*. 2.ª ed. New York, McGraw-Hill, 1950. 644 p.
15. BARROS BARRETO, João de — *Tratado de Higiene*. 2.ª ed. Rio de Janeiro, Dep. Imp. Nacional, 1948. v. 1.
16. BRASIL. Leis, decretos, etc. — *Normas gerais sobre defesa e proteção da saúde; código nacional de saúde — normas técnicas especiais*. Rio de Janeiro, Serv. Nac. de Educação Sanitária, 1963. 52 p.
17. BRASIL. Serviço Especial de Saúde Pública — *Privada higiênica (fossa seca)*, s.n.t. 18 p.
18. BRASIL. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas — *Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio de Janeiro e Distrito Federal (contribuição à carta de solos do Brasil)*. Rio de Janeiro, Centro Nac. Ens. e Pesq. Agronômicas, 1958. 350 p. (Bol. n.º 11)
19. BRITISH STANDARDS INSTITUTION — *Small domestic sewage treatment works*. London, 1956. 28 p. (General Series, CP 302.100)
20. BRITO, Saturnino de — *Esgotos; parte geral*. Rio de Janeiro, Imp. Nacional, 1943. 352 p. (Obras Completas de Saturnino de Brito, v. 2)

21. BRYAN, Arthur H. & BRYAN, Charles G. — **Principles and practice of bacteriology**. 3.^a ed. New York, Barnes & Noble, 1942. 410 p.
22. BUILDER, A. — **Les fosses septiques; leur construction, leur fonctionnement, leur entretien**. 3.^a ed. Paris, Ch. Beranger, 1960. 201 p.
23. CASA SANO S/A., Rio de Janeiro — **Tratamento de esgotos sanitários e despejos industriais**. Rio de Janeiro, 1952. 32 p.
24. ——— ———. Rio de Janeiro, 1943. 36 p.
25. CASAGRANDE, Arthur. — **Notes on soil mechanics — 1945, Spring course**. Cambridge, Mass. Harvard Univ., 1939. 128 p.
26. CAPUTO, Homero Pinto — **Mecânica dos solos para uso dos engenheiros**. Rio de Janeiro, Ed. Rodovia, 1957. 307 p.
27. CASALE, Dante I. — **Obras sanitárias domiciliares e industriais**. Buenos Aires, Gerardo Soria, 1946. 267 p.
28. CASTELO BRANCO, Zadir — A determinação do coeficiente de percolação. **Rev. S.E.S.P.**, Rio de Janeiro, 8(1):271-6, dez. 1955.
29. CHILE. Servicio Nacional de Salubridad. Dep. de Ingeniería Sanitaria — **Fosa septica de tipo economico**. Santiago, 1948. 12 p.
30. COHEN, Chester — **Disposicion de desagues sobre el suelo**. Lima, Off. Sanitaria Panamericana, s.d. 8 p.
31. CONGRESSO INTERNACIONAL DE MICROBIOLOGIA, 5.^o — Rio de Janeiro, 17-24 ago., 1950. Rio de Janeiro, Instituto Oswaldo Cruz, 1950. 258 p.
32. CONTINENTINO, Lincoln — **Saneamento e urbanismo**. Belo Horizonte, Patricio Gama, Distr. Liv. Médica, 1937. 373 p.
33. CONTRIBUIÇÃO ao mapeamento, em séries, dos solos do município de Itaguaí. Rio de Janeiro, Centro Nac. Ens. e Pesq. Agronômicas, 1954. 53 p. (Brasil. Inst. Ecol. e Experimentação Agrícolas. Bol. n.º 12)
34. COULTER, James B. — **Garbage disposal units and home sewerage systems**. Cincinnati, Public Health Service, 1952. 21 p.
35. COULTER, James B. — **Suburban sewerage systems**. Cincinnati, Public Health Service, s.d. 17 p.
36. ——— & BENDIXEN, Thomas W. — Serial distribution of septic tank effluents. **Public Works Magazine**, Ridgewood, 90(2), Feb. 1959.
37. ——— — **Sewage treatment plants for the suburban sewerage systems**. Cincinnati, Public Health Service, 1960. 17 p.
38. ——— et alii — **Anaerobic contact process for sewage disposal**. Cincinnati, Public Health Service, 1956. 13 p.
39. ——— — **Anaerobic contact process for sewage disposal**. **Sewage and Industrial Wastes**, Washington, 29(4):468-77, Apr. 1957.
40. ——— — **Metropolitanism and sewage handling technology**. **Sewage and Industrial Wastes**, Washington, 31(8):900-8, Aug. 1959.
41. CUNHA, Augusto Mário da — A determinação da permeabilidade in situ pelos métodos pressiométricos. **Rev. do Clube de Eng.**, Rio de Janeiro (295):13-6, mar. 1961.
42. DEGRADATION of ABS and other organic in unsaturated soils. **Journal W.P.C.F.**, Washington, 35(10):1225-36, Oct. 1963.
43. DISTRITO FEDERAL. Leis, decreto etc. — **Regulamento sanitário (decreto 9.761 de 21 de maio de 1949)**. Rio de Janeiro, Distrito Federal, Serv. de Docum. da Secr. Geral de Administração, 1949. 78 p.
44. DISTRITO FEDERAL. Leis, decretos, etc. Código de obras — Código de obras do Distrito Federal (decreto n. 6.000, de 1 de julho de 1937)... cap. 13, título 4. **Rev. Municipal de Eng.**, Rio de Janeiro, 13(1/2):48-50, jan./fev. 1946.
45. EHLERS, Victor M. & STEEL, Ernest W. — **Municipal and rural sanitation**. 3.^a ed. New York, McGraw-Hill, 1943. 449 p.
46. ESCRITT, L. B. — **Sewage treatment; design and specification**. London, The Contractors Record and Municipal Engineering, 1950. 257 p.
47. ESCRITT, L. B. & RICH, Sidney F. — **The work of the sanitary engineer**. London, Mac Donald & Evans, 1949. 689 p.
48. FACTORS influencing the design and operation of soil systems for waste treatment. **Journal W.P.C.F.**, Washington, 36(8):971-83, Aug. 1964.
49. FAIR, Gordon M. — **Apostilas da Harvard Univ., Graduate School of Engng; water supply and sewerage**. Cambridge, Mass., 1945.
50. ——— — «Sewage». In: ROSENAU, Milton J. — **Preventive medicine and hygiene**. 6th ed. New York, D. Appleton, 1935, seção, 10, p. 1114-65.
51. ——— & GEYER, John Charles — **Water supply and waste-water disposal**. New York, J. Wiley; London, Chapman & Hall, 1954. 973 p.
52. FEDERATION OF SEWAGE WORKS ASSOCIATIONS. Committee on Sewage Works Practice. Sub-Committee on Sludge Utilization for Fertilizer — **Utilization of sewage sludge as fertilizer**. Champaign, Ill., 1946. 120 p. (Manual of Practice, 2)

53. FONTENELLE, J. P. — **Compêndio de higiene**. 5.ª ed. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara, 1940. 771 p.
54. FROBISHER JR., Martin — **Fundamentals of bacteriology**. 2ª ed. Philadelphia, W. B. Saunders, 1942. 653 p.
55. GARCEZ FILHO, João Moreira — **Elementos de engenharia hidráulica e sanitária**. São Paulo, Edgard Blücher, s.d. v. 2, cap. X.
56. GARCEZ FILHO, João Moreira — Tanque séptico e disposição de seu efluente. **Engenharia**, São Paulo, 12(140):333-45, jul. 1954.
57. GLOSSARY Water and sewage control engineering. New York, Amer. Soc. Civil Engineering, 1949. 274 p.
58. GLOSSARY of sanitary engineering terms; english-português-castelhano. Rio de Janeiro, Missão Norte-Americana de Coop. Econ. e Téc. no Brasil, 1957.
59. GOTAAS, Harold B. — **Composting sanitary disposal and reclamation of organic wastes**. Geneva, World Health Org., 1956. (W.H.O. Monograph Series, 31)
60. GUANABARA. Departamento de Esgotos Sanitários — **regulamentação da padronização, do uso e da manutenção de fossas sépticas do Estado da Guanabara**. Guanabara, 1964. 26 p.
61. GUANABARA, Leis, decretos etc. — Departamento de esgotos sanitários; ordem de serviço «N» — DES — n.º 1 — 64 de 15 de abril de 1964. **Diário Oficial**, Estado da Guanabara, 15 maio 1964. Parte I, p. 9702-7.
62. GRÁ-BRETANHA. Ministry of Housing and Local Government — **Memorandum on principles of design for small domestic sewage treatment works**. London, H. M. Stationery Off., 1960. 21 p.
63. GRÁ-BRETANHA. Water Pollution Research Laboratory — **Septic tanks. Notes on Water Pollution**, London (9):1-4, Jun. 1960.
64. ——— — Some further observations on waste waters from farms. **Notes on Water Pollution**, London (24):1-4, Mar. 1964.
65. IMHOFF, Karl — **Manual de saneamiento urbano**. Buenos Aires, Jacobo Peuser, 1941. 263 p.
66. ——— & FAIR, Gordon Maskew — **Sewage treatment**. New York, J. Wiley; London, Chapman & Hall, 1940. 370 p.
67. ISAAC, Peter C. G. — **Public health engineering**. London, E. & F. N. Spon, 1953. 277 p.
68. JESUS NETTO, J. P. — Contribuição para o estudo dos sistemas estáticos de disposição dos despejos privados — ensaio de regulamentação. **Bol. do Inst. de Eng.**, set. 1933. p. 157-65.
69. KIKER JR., John E. — Developments in septic tank systems. **Transactions of the A.S.C.E.**, New York, 123(2911):77-84, 1958.
70. ——— — Rational design criteria for sewage absorption fields. **Sewage and Industrial Wastes**, Washington, 22(9):1147-56, Sept. 1950.
71. ——— — Subsurface sewage disposal. Gainesville, Florida, Engng. and Industr. Exp. Station, 1948. 72 p.
72. LEMOS, Petezval & CASTRO, Abeilard Fernando — **Contribuição ao estudo da capacidade de armazenamento da água das chuvas em solos da série Itaguaí**. Rio de Janeiro, Centro Nac. Ens. Pesq. Agronômicas, 1955. 33 p. (Brasil. Inst. Ecol. Exp. Agr., Bol. n.º 15)
73. LEUZINGER, Jorge — **Apostilas da Escola Nacional de Engenharia; cadeira de higiene**. Rio de Janeiro, 1947. 150 p.
74. LEUZINGER, Jorge — **Apostilas da Escola Nacional de Engenharia; cadeira de higiene**. Rio de Janeiro, 1947. 38 p.
75. LOPES, José de Carvalho — Importância prática do coeficiente de permeabilidade, seu papel em geral e particularmente na hidrogeologia e sua determinação pelo método de campo Thiem-Wenzel. **Rev. D.A.E.**, São Paulo, 23(46):43-50, set. 1962.
76. ——— — Ainda sobre o coeficiente de permeabilidade. **Rev. D.A.E.**, São Paulo, 23(47):79-83, dez. 1962.
77. LUDWIG, Harvey F. — **Septic tanks: design and performance**. **Sewage and Industrial Wastes**, Washington, 22(1):55-60, Jan. 1950.
78. ——— & LUDWIG, Gordon W. — Improved soil percolation test; for determining the capacity of soils... **Water & Sewage Works**, Chicago, 96(5):192-4, May 1949.
79. ——— & STEWART, John — Equilibrium percolation test for estimating soil leaching capacity. **Modern Sanitation**, Oct. 1952. p. p. 61-6.
80. ——— et alii — Equilibrium percolation test; for designing sewage effluent leaching fields. **Water & Sewage Works**, Chicago, Dec. 1950.
81. MACDONALD, O. J. S. — **Small sewage disposal systems**. London, H. K. Lewis, 1952. 294 p.
82. MCGAUHEY, P. H. & WINNEBERGER, John H. — Studies of the failure of septic tank percolation systems. **Journal W.P.C.F.**, Washington, 36(5):593-606, May 1964.

83. ——— — **Summary report on causes and prevention of failure of septic-tank percolation systems.** Berkeley, Sanitary Engng. Research Labo., Univ. Calif., 1963. 66 p. (SERL report, 63-5)
84. MARAIS, G. van R. — **A rational theory of the design of sewage stabilisation ponds in tropical and sub-tropical areas.** Ridgeway, African Housing Board, 1962. 35 p.
85. MARTIN, Harrison A. — Design details for individual sewage disposal systems. **J. of the Sanitary Engng. Div.**, New York, 84(SA4): 1-22, Jul. 1958.
86. METCALF, Leonard & EDDY, Harrizon P. — **Sewerage and sewage disposal.** 2^d ed. New York, McGraw-Hill, 1930. 783 p.
87. MICHIGAN. Department of Health — **Sewerage and sewage disposal.** Lansing, 1941. 57 p. (Engng. Bull. n.º 11)
88. MORAES, Nelson Luiz de Araújo — «Contribuição ao conhecimento das condições de saúde da população brasileira». **Rev. S.E.S.P.**, Rio de Janeiro, 9(1):5-101, jul. 1957.
89. MORAIS, Rui Gomes de & GOULART, Enio Garcia — **Investigação preliminar sobre a eficiência do tratamento de esgotos da Penha em relação aos parasitos intestinais.** Guanabara, Inst. Eng. Sanitária, 1965. 13 p. (I.E.S., 30)
90. MUSTARD, Harry S. — **Prática sanitária rural.** Rio de Janeiro, Imp. Nacional, 1947. 498 p.
91. NUNES, A. J. da Costa — **Curso de mecânica dos solos e fundações.** 1.^a ed. Rio de Janeiro, Globo, 1956, 314 p.
92. NOTTINGHAM, M. C. & LUDWIG, Harvey F. — Septic tank performance as related to tank length, width, and depth. **Water & Sewage Works**, Chicago, 95(12), Dec. 1948.
93. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. Regional Office for Europe — **Design and operation of septic tanks.** Geneva, 1953. 122 p. (Monograph Series, 18)
94. PEIXOTO, Afranio — **Higiene geral.** 4.^a ed. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1926. v. 1.
95. PESSOA, Samuel Barnsley — **Problemas brasileiros de higiene rural.** S. Paulo, Indústria Gráf. J. Magalhães, 1949. 582 p.
96. PHELPS, Earle B. — **Public health engineering; a textbook of the principles of environmental sanitation.** New York, J. Wiley; London, Chapman & Hall, 1948. v. 1.
97. RICH, Edward D. — **The sanitary privy.** Lansing, Michigan Dep. of Health, 1936. 17 p. (Engng. Bull. n.º 8)
98. RODRIGUEZ-AVIAL, Mariano — **Instalaciones en los edificios fontanería y saneamiento.** Madrid, Dossat, 1950. 257 p.
99. ROSENAU, Milton J. — **Preventive medicine and hygiene.** 6th ed. New York, D. Appleton, 1935. 1481 p.
100. RUDOLFS, Willem — **Principles of sewage treatment.** 2^d ed. Washington, National Lime ASS., 1942. 130 p.
101. SANSON, Roberto David de — Umidade do solo. **Rev. do Clube de Eng.**, Rio de Janeiro, (258):27-34, fev. 1958.
102. SIQUEIRA, Antonio de — **Engenharia Sanitária.** Rio de Janeiro, Globo, 1947. 750 p.
103. ——— — **Tratamento do efluente dos esgotos das cidades e das habitações rurais.** Porto Alegre, J. R. da Fonseca, Liv. Selbach, 1929. 48 p.
104. SOCIEDADE «OMS» LTDA., São Paulo — «OMS» fossas sépticas ou poços decantadores verticais. São Paulo, 1939. 6 p.
105. SOUZA-ARAÚJO, H. C. & ROSSEL, Celso S. C. — Isolamento de bacilos ácido-álcool resistentes das águas dos efluentes das fossas «OMS» do Sanatório Padre Bento (S. Paulo) e do Hospital-Colônia Curupaity (Distrito Federal). **Memórias do Inst. Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, 44(4):763-71, dez. 1946.
106. SOMARUGA, Mario — **Curso practico de obras sanitárias domiciliarias.** 1.^a ed. Buenos Aires, Construcciones Sudamericanas, 1953. 286 p.
107. STRAUB, Conrad P. — **Criteria for waste disposal.** Cincinnati, Public Health Service, 1955. 14 p.
108. ——— — **Fundamentals of undergroup waste disposal.** Cincinnati, Public Health Service, 1956. 27 p.
109. TABOSA, Walter — **Saneamento do meio; palestra realizada na V Convenção Nacional de Engenheiros em Recife no período de 18-24 nov. 1951.** Rio de Janeiro, 1951. 7 p.
110. TRELLES, Rogelio A. — **Saneamiento rural, cartilla n.º 1.** Buenos Aires, Of. de Propaganda y Consulta del Saneamiento Rural, 1948. 13 p.
111. UNIAO PANAMERICANA — **Manual de normas de saneamiento recomendadas para establecimientos turisticos.** Washington, s.d. 118 p.
112. U. S. Department of Agriculture — **Soil.** Washington, U. S. Govt. Print. Off., 1957. 784 p.

113. ——— — **Soil survey manual.** Washington, 1951. 503 p. (U. S. Dept. Agriculture Handbook, 18)
114. U. S. Public Health Service — **Small sewage treatment systems.** Washington, Nat. Ass. of Home Builders of the U. S., 1959. 42 p.
115. U. S. Public Health Service. Division of Environmental Engineering and Food Protection — **Environmental health practice in recreational areas.** Washington, 1965. 134 p. (P.H.S. Publication, 1195).
116. U. S. Public Health Service. Division of Sanitary Engineering Services — **Manual of septic-tank practice.** Washington, 1958. 85 p. (P. H. S. Publication, 526)
117. ——— — **Manual para el diseño, operacion y mantenimiento de tanques septicos.** Mexico, Centro Regional de Ayuda Tecnica, 1960. 107 p. (P.H.S. Publication, 526)
118. U. S. Federal Housing Administration — **Engineering soil classification for residencial developments.** Washington, U. S. Govt. Print. Off., 1959. 107 p.
119. U. S. Housing and Home Finance Agency. Division of Housing Research — **Septic tank soil absorption systems for dwellings.** Washington, U. S. Govt. Print. Off., 1954. 34 p.
120. ——— — **Septic tanks — their use in sewage disposal.** Washington, U. S. Govt. Print. Off., 1951. 16 p. (Housing Research Paper, 18)
121. U. S. Robert A. Taft Sanitary Engineering Center, Cincinnati — **Advanced training for engineers and scientists from foreign countries.** Cincinnati, 1961.
122. ——— — **Appendices; report of a study sponsored by the Federal Housing Administration to develop practical design criteria for seepage beds as a method for disposal of septic tank effluent.** Cincinnati, 1960.
123. ——— — **Final report to Federal Housing Administration on the study to: determine if distribution boxes can be eliminated without inducing increased failure of disposal fields.** Cincinnati, 1958. 42 p.
124. ——— — **Ground water contamination; proceedings of the 1961 symposium.** Cincinnati, 1961, 218 p.
125. U. S. Robert A. Taft Sanitary Engineering Center, Cincinnati — **New developments in sewage treatment.** Cincinnati, 1962.
126. ——— — **Seminar on household sewage disposal systems.** Cincinnati, 1956.
127. ——— — **Report of a study sponsored by the Federal Housing Administration to develop practical design criteria for seepage pits as a method for disposal of septic tank effluent.** Cincinnati, 1963. 185 p.
128. ——— — **Report of a study by the Federal Housing Administration to develop practical design criteria for seepage beds as a method for disposal of septic tank effluent.** Cincinnati, 1961. 62 p.
129. ——— — **Report to the Federal Housing Administration; on: septic tank failure as an influence on change of house occupance.** Cincinnati, 1960.
130. VINCENT, L. J. et alii — **A system of sanitation for lowcost high density housing.** Ridgewood, African Housing Board, 1962. 28 p.
131. WAGNER, Edmund G. — **Engenharia sanitária no vale do Amazonas.** Rev. S.E.S.P., Rio de Janeiro, 1(1):87-134, 1947.
132. ——— & LANOIX, J. N. — **Excreta disposal for rural areas and small communities.** Geneva, World Health Org. 958. 187 p. (W.H.O. Monograph Series, 39)
133. WARREN, George M. — **Sewage disposal on the farm.** Washington, Govt. Print. Off., 1917. Separata de U. S. Dep. Of. Agriculture — Yearbook of the Dep. of Agriculture, 1916. s.n.t. p. 347-73.
134. WEIBEL, S. R. — **Household sewage disposal systems.** For presentation at the 4th Interamerican Conference of Sanitary Engineering, São Paulo, 25-31 Jul. 1954. p. 383-90.
135. ——— et alii — **Studies on household sewage disposal systems.** Cincinnati, Public Health Service, 1949-54. 3 v.
136. WINNEBERGER, John H. et alii — **A study of methods of preventing failure of septic-tank percolation fields; second annual report.** Berkeley, Sanit. Engng. Research Lab., Univ. Calif., 1962. 68 p.
137. WITHEROW, J. L. et alii — **Anaerobic contact process for treatment of suburban sewage.** J. of the Sanitary Engng. Div., New York, 84(SA6):1-3, Nov. 1958.
138. ZINSSER, Hans & BAYNE-JOENS, Stanhope — **Tratado de bacteriologia.** Rio de Janeiro, Imp. Nacional, 1947. 1028 p. (Biblioteca Científica Brasileira, Série B-1).