

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

MARCUS BRUNO DOMINGUES SOARES

**ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO EM ESCALA REAL DA FILTRAÇÃO EM MARGEM
EM LAGO DE PISCICULTURA EXTENSIVA PARA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL**

FLORIANÓPOLIS, 2009

MARCUS BRUNO DOMINGUES SOARES

**ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO EM ESCALA REAL DA FILTRAÇÃO EM MARGEM
EM LAGO DE PISCICULTURA EXTENSIVA PARA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Engenharia Ambiental da Universidade
Federal de Santa Catarina, como requisito parcial
para a obtenção do título em
Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Luiz Sens

**FLORIANÓPOLIS
JUNHO DE 2009**

ESTUDO DA IMPLANTAÇÃO EM ESCALA REAL DA FILTRAÇÃO EM MARGEM EM LAGO DE PISCICULTURA EXTENSIVA PARA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL

MARCUS BRUNO DOMINGUES SOARES

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL

na área de Saneamento Ambiental.

Aprovada por:

Filomena Kotaka, Dra.

Prof. Luis Sérgio Philippi, Dr.

Prof. Ramon Lucas Dalsasso, Dr.

Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.
(Coordenador)

Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.
(Orientador)

**FLORIANÓPOLIS, SC, BRASIL
JUNHO/2009**

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, saúde e conhecimento que me concedeu;

A Universidade Federal de Santa Catarina por todo apoio desde o Curso de Graduação;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e seus professores pela qualidade de ensino oferecida;

Ao Professor Dr. Maurício Luiz Sens pela orientação desta dissertação;

Ao Professor Dr. Ramon Lucas Dalsasso pelas orientações iniciais;

A meus queridos pais Antônio José Coelho Soares e Estelita Domingues Soares, pela educação e paciência na minha criação, bem como todo apoio na concretização de meus sonhos;

A meus irmãos André e Pablo pela força e companheirismo;

A EPAGRI-Florianópolis e Ituporanga pelo apoio e concessão de suas instalações para a implantação e estudo desta inovadora tecnologia, em especial a Bernadete Pancere, ao Edison Xavier de Almeida, ao Claudinei Kurtz, ao José Roberto Knoth e a todos os demais envolvidos direta ou indiretamente no projeto;

A meu mais novo irmão Bruno, com quem dividi uma parceria promissora e sem igual nesta pesquisa;

Aos membros e ex-membros do LAPOA, Renata, Bianca, Nathália, Fernando, Fernanda, Alex e em especial a Denise e Luis com os quais dividi conhecimentos no desenvolver desta pesquisa;

A Cátia pelo auxílio nas análises de fitoplânctons;

Ao LIMA, em especial a Servidora Arlete;

Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado;

Por último e não menos importante a minha querida namorada Luiza pelo amor e paciência e seus pais pelo apoio e compreensão nos meus estudos de aperfeiçoamento.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2 OBJETIVOS.....	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1 FILTRAÇÃO EM MARGEM.....	6
3.1.1 HISTÓRICO.....	6
3.1.2 TIPOS DE POÇOS DE PRODUÇÃO	7
3.1.3 FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DA FM.....	11
3.1.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA FM.....	13
3.1.5 PRINCIPAIS PROCESSOS QUE OCORREM DURANTE A FM	14
3.1.6 INFLUÊNCIA DO TIPO DE SOLO NA FM	14
3.1.7 TEMPO DE PERCURSO DA ÁGUA	17
3.1.8 O PROCESSO DE COLMATAÇÃO	18
3.1.9 ASPECTOS COMUNS ENTRE A FILTRAÇÃO EM MARGEM E A FILTRAÇÃO LENTA	20
4. METODOLOGIA	23
4.1 LOCAL DE ESTUDO.....	23
4.2 IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA	25
4.2.1 IMPLANTAÇÃO DA FILTRAÇÃO EM MARGEM	25
4.2.2 PARÂMETROS DE CONTROLE E MÉTODOS ANALÍTICOS	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1 SONDAGEM DE SOLO.....	45
5.2 ENSAIO DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA	48
5.3 ESCAVAÇÃO DO POÇO DE PRODUÇÃO	50
5.4 TESTE DE BOMBEAMENTO	51
5.5 AVALIAÇÃO DO TEMPO DE RESIDÊNCIA	52
5.6 AVALIAÇÃO DO GRAU DE DILUIÇÃO DA ÁGUA FILTRADA EM MARGEM	54
5.7 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA FILTRADA EM MARGEM	55
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	64
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
APÊNDICES.....	75
ANEXOS	97

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo mostrar os estudos preliminares e a implantação em escala real da tecnologia da filtração em margem em tanques de piscicultura extensiva, para atender a dessedentação na produção animal durante os períodos de estiagem no oeste do Estado de Santa Catarina. O local de estudo foi a Estação Experimental da EPAGRI localizado na cidade de Ituporanga-SC, por apresentar lagos de piscicultura semelhantes aos da proposta e pelo suporte técnico na realização deste trabalho. Foram sondados 5 pontos no entorno do lago, desta forma o perfil obtido e a análise do coeficiente de permeabilidade hidráulica saturada de $5,4 \times 10^{-2}$ cm/s, indicou o ponto 4 como o mais apropriado para a instalação do poço. O mesmo ensaio realizado com amostras do fundo do lago resultou em um coeficiente de permeabilidade médio de $2,22 \times 10^{-5}$ cm/s, indicando um alto grau de colmatação do mesmo. Na realização do teste de bombeamento, foi obtida uma vazão de 2560 L/d em um período que houve precipitação de 89,7mm nos últimos 30 dias precedentes ao teste. O tempo de residência hidráulico teórico de 70 dias foi obtido através da Equação de Darcy. Na avaliação da quantidade de água filtrada em margem foi verificado um percentual de 25% e a avaliação da qualidade da água filtrada em margem mostrou que mesmo apresentando qualidade dentro do recomendado na maioria dos parâmetros, os resultados indicam uma forte tendência de melhora da mesma, possivelmente atendendo padrões de consumo humano. Por outro lado, as características geológicas do solo mostram-se ser um forte interferente na qualidade da água filtrada em margem.

PALAVRAS-CHAVE: tratamento de água, filtração em margem de lago, dessedentação animal.

ABSTRACT

The main objective of this research is to show preliminary studies and the full scale implementation of the bankfiltration technology in extensive pisciculture tanks, to supply small animal production during drought periods, in the west of the State of Santa Catarina – Brazil. The chosen place was The Experimental Station of EPAGRI, located in the city of Ituporanga-SC due to the piscicultures lakes, similar to the ones in the west of the State, in addition it could provide technical support during this research. Geological investigations were done in five points around the lake in order to identify the different layers of the soil, and with a hydraulic conductivity coefficient of $5,4 \times 10^{-2}$ cm/s, the second layer of the point 4 was the most appropriated to the well execution. The same test was done with samples from the bottom of the lake, that provided an average hydraulic coefficient of $2,22 \times 10^{-5}$ cm/s, showing that there was a clogged layer on the bottom of the lake. A flow of 2560 L/d was detected during the pump test that was performed in a period of 89,7mm precipitation during the 30 days before the test. A 70 days theoretical residence time was determined through the Darcy's equation. In the ground water dilution determination was verified a 25% of bank filtrated water and the water quality of the production well showed that the majority of the parameters followed the national recommendation, in addition there is a strong tendency to the water quality improvement in a soon future. On the other hand, the geological characteristics of the soil is a strong interference in the bank filtrated water.

KEY-WORDS: water treatment, lake bank filtration, animal supply.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da cidade de Ituporanga.....	23
Figura 2 – Foto aérea da localização da Estação Experimental da EPAGRI de Ituporanga e do lago de estudo.....	24
Figura 3 – Esquema de um poço escavado.....	8
Figura 4 – Esquema de ponteira cravada.....	9
Figura 5 – Foto da escavação de um poço a trado manual.....	9
Figura 6 – Esquema de um poço radial.....	10
Figura 7 - Desenho esquemático do funcionamento da FM.....	12
Figura 8 – Gráfico da porosidade de alguns materiais sedimentares.....	16
Figura 9 - Colmatação em diferentes tipos de solo.....	19
Figura 10 - Localização dos pontos de amostragem. Fonte: Google.....	26
Figura 11 - Equipamento para ensaio a percussão e medição de SPT de subsolo.....	27
Figura 12 – Foto da sondagem do solo no local de estudo.....	28
Figura 13 – Foto do coletor de solo instalado ao lado do equipamento de sondagem.....	29
Figura 14 - Foto da coleta das amostras.....	29
Figura 15 - Esquema do permeâmetro de nível utilizado.....	31
Figura 16 – Foto do permeâmetro de nível utilizado.....	31
Figura 17 – Saturação das amostras em béquer com água para teste de permeabilidade.....	33
Figura 18 – Foto dos amostradores para coleta de sedimento das margens do lago.....	34
Figura 19 - Localização dos pontos de coleta das amostras do fundo do lago.....	35
Figura 20 – Foto da coleta por cravação do tubo de PVC no fundo do lago.....	35
Figura 21 - Transferência das amostras para o cilindro de aço do permeâmetro.....	36
Figura 22 - Esquema ilustrativo do poço de produção.....	37
Figura 23 - Ilustração da sonda eletrônica de nível.....	38
Figura 24 – Foto da programação da sonda eletrônica.....	39
Figura 25 – Foto da introdução da sonda eletrônica no poço.....	39
Figura 26 - Exemplo do gráfico do Processo de Pochet.....	40

LISTA DE FIGURAS (continuação)

Figura 27 - Localização dos poços de monitoramento.	41
Figura 28 – Foto dos poços de monitoramento envolvidos por manta permeável.....	42
Figura 29 – Foto da perfuração dos poços de monitoramento.....	42
Figura 30 - Localização dos poços de monitoramento 4 e 5.....	43
Figura 31 - Perfil do solo dos pontos 1, 2 e 3.	46
Figura 32 - Perfil do solo dos pontos 4 e 5.....	47
Figura 33 - Gráfico obtido para o teste de bombeamento.....	51
Figura 34 – Gráfico obtido para a determinação do tempo de residência.....	53
Figura 35 – Monitoramento da turbidez da água filtrada em margem.....	57
Figura 36 – Monitoramento da cor aparente da água filtrada em margem.	57
Figura 37 – Monitoramento da cor verdadeira da água filtrada em margem.....	58
Figura 38 – Gráfico da evolução da turbidez no poço de produção.	59
Figura 39 – Gráfico da evolução da cor aparente no poço de produção.....	60
Figura 40 – Gráfico da evolução da cor verdadeira no poço de produção.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo médio de água por animal.....	2
Tabela 2 – Os diferentes tipos de piscicultura.....	3
Tabela 3 – Características físicas e produtivas de alguns materiais.	17
Tabela 4 – Parâmetros da qualidade da água com sua respectiva periodicidade.	45
Tabela 5– Ensaio de condutividade hidráulica das amostras da sondagem.....	49
Tabela 6 - Ensaio de condutividade hidráulica das amostras do fundo do lago.	49
Tabela 7 - Avaliação do grau de diluição da água filtrada em margem.....	54
Tabela 8 – Monitoramento da cor e turbidez no sistema de FM.	56
Tabela 9 – Monitoramento da cor e turbidez no sistema de FM.	58
Tabela 10 – Monitoramento da cor e turbidez do poço de produção.....	61

LISTA DE DEFINIÇÕES

Adsorção – é a adesão das moléculas de um fluido a uma superfície sólida.

Aquífero – é uma formação ou grupo de formações geológicas que pode armazenar água subterrânea.

Colmatação – obstrução dos poros do material filtrante por material em suspensão e/ou sedimentável.

Cone de depressão – cone formado pelo poço de produção no aquífero durante a retirada da água do mesmo.

Dessedentação – matar a sede.

Diluição – tornar uma substância menos concentrada em partículas de soluto através do aumento da quantidade de solvente.

Dispersão – é qualquer disseminação de uma substância ao longo de todo volume de outra substância.

Gradiente hidráulico – é a energia ou perda de carga por unidade de comprimento.

Granulometria – é o processo que define o tamanho dos grãos.

Percolação – passagem lenta de um líquido através de um meio filtrante.

Permeabilidade hidráulica / Condutividade hidráulica / Permeabilidade hidráulica saturada - É a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento da água através de seus vazios de um ponto de mais alta energia para um ponto de mais baixa energia.

Permeâmetro – equipamento utilizado para verificar a permeabilidade da amostra de solo.

Piscicultura – refere-se ao cultivo de organismos aquáticos incluindo peixes, moluscos, crustáceos e plantas aquáticas.

Porosidade – relação entre o volume de vazios e o volume total da amostra de solo.

Porosidade efetiva – razão efetivamente liberado de uma amostra saturada e o volume total.

Tempo de residência hidráulico / Tempo de retenção / Tempo de percurso - tempo em que a água leva para sair do manancial e chegar até o poço de produção.

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O Estado de Santa Catarina tem sofrido com a seca e estiagem que ocorre não só no oeste, mas em todo o Estado. Esta situação resultou em racionamento de água não só no setor doméstico, mas também nas atividades agropecuárias. Na agricultura, houve queda em algumas produções. A produção e a qualidade de água dos rios da região tem diminuído consideravelmente a cada estação em consequência de contaminação por dejetos suínos e da destruição de florestas e das matas ciliares. As secas são cíclicas e cada vez mais graves.

Segundo DESER (2004), por causa da estiagem que durou cerca de sete meses em 2004, 133 municípios catarinenses decretaram situação de emergência ou calamidade pública, o que corresponde cerca de 38% dos municípios da Estado. Em 2006, 195 dos 293 municípios catarinenses declararam situação de emergência com prejuízo calculado de aproximadamente R\$ 286 milhões de reais (FOLHA ONLINE, 2006). O Canal Rural (2008), declarou que no ano de 2008 a estiagem fez 22 municípios anunciarem estado de emergência, fazendo a produção de leite cair 35% e as perdas de feijão e milho caírem em 30% e 20%, respectivamente. Em 2009, 45 municípios declararam situação de emergência nas regiões oeste, meio-oeste, norte e Planalto Serrano. O setor agropecuário, principal atividade econômica destas regiões, foi muito prejudicado pela estiagem (ESTADÃO (2009); GAZETA MERCANTIL (2009); O GLOBO (2009)). A produção de leite foi a mais afetada, sendo que cerca de 25% da produção deixou de ser encaminhada às indústrias nos últimos meses (GAZETA MERCANTIL, 2009). Diante de tal dificuldade, as pessoas tendem a parar de produzir, pois não encontram mais no campo fontes de sustento e acabam por suprir isto na cidade, onde podem passar por necessidades, vão para o crime e aumentam a marginalidade (FOLHA ONLINE, 2006)

A deficiência de água destinada ao consumo animal influencia diretamente a produção. A produção pecuária do Estado de Santa Catarina está concentrada na produção de bovinos, suínos e predominância de aves e é diretamente proporcional à disponibilidade de água para o consumo dos mesmos. O consumo médio de água para abastecer a produção pecuária depende da finalidade (Tabela 1). Na avicultura industrial, por exemplo, o consumo médio em

litros/animal/dia é em torno de 0,5 a 1,0, já na bovinocultura de corte animal adulto e porcas em maternidade, o consumo varia de 35 a 70 litros/animal/dia (EPAGRI, 2005).

Tabela 1 – Consumo médio de água por animal

Animais	Consumo litro/animal/dia
Suínos em fase de terminação	5 a 10
Porcas em maternidade	35 a 50
Avicultura industrial	0,5 a 1,0
Bovinocultura de corte animal adulto	50 a 70

Fonte: EPAGRI, 2005

Pesquisadores da EPAGRI observaram que lagos utilizados para viveiros de carpas prateadas (*Hypophthalmichthys molitrix*); que se adapta facilmente a ambientes ricos em nutrientes e matéria orgânica; têm apresentado melhoria na qualidade da água a ser destinada ao consumo animal e, possivelmente, humano. Estudos têm comprovado que a qualidade da água que sai destes viveiros tem melhor qualidade que as coletas em determinados rios (PEREIRA, 1999). Desta forma, a associação da tecnologia que se pretende desenvolver com a presença de carpas prateada, vem ser uma alternativa para o abastecimento de água que é fator importante para se manter produção animal.

Devido a isso, propõe-se o desenvolvimento da tecnologia da Filtração em Margem para suprir a dessedentação animal utilizando lagos de piscicultura, abundantes na região, pois, segundo a Associação dos Municípios do Extremo Oeste de Santa Catarina - AMEOSC (2009), apenas em São Miguel do Oeste a produção gira em torno de 262 toneladas por 263 piscicultores, o que representa 21% da produção dos 18 municípios do Extremo Oeste. Além do mais, o Brasil vem crescendo a cada ano na produção de pescado e apenas em 2000 o país produziu cerca de 840 mil toneladas de pescados sendo a pesca artesanal responsável por 51% da produção total incluindo nesta a piscicultura. Em 2007 a aquicultura sofreu um aumento de 10,2% em relação ao ano anterior com um valor estimado em torno de R\$ 781.145,700,00 reais (IBAMA, 2007). Com isso, pode-se perceber uma potencialidade no aumento do uso da técnica em outras regiões do Brasil (IBAMA, 2007).

A filtração em margem consiste na retirada de água subterrânea em um local adjacente a um corpo de água, de modo que o rebaixamento do nível da água subterrânea induza a água da fonte superficial a escoar pelo solo/subsolo. A idéia básica é utilizar os sedimentos do manancial superficial como meio filtrante. Para isso são construídos poços de captação nas margens do manancial, criando artificialmente um gradiente hidráulico, o qual provocará um fluxo de água através do solo/subsolo suporte do mesmo. Os possíveis contaminantes presentes na água superficial serão então removidos neste percurso (SENS *et al.*, 2006).

A pesquisa foi desenvolvida em um lago de piscicultura extensiva localizado na Estação Experimental da EPAGRI pertencente a cidade de Ituporanga-SC. Os lagos existentes na estação experimental são utilizados como viveiros de peixe da espécie carpa prateada. Na produção extensiva de peixes, a taxa de estocagem é de um peixe para cada 10 m², segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CALDAS, 2009). Além disso, a concepção básica de lagos de piscicultura pode ser observado no Anexo D. A Tabela 2 mostra os diferentes tipos de piscicultura.

Tabela 2 – Os diferentes tipos de piscicultura.

Tipo de Piscicultura	Produção
Extensiva	1 peixe para cada 10 m ²
Semi-Intensiva	3 a 5 peixes por m ²
Intensiva	10.000 a 15.000 kg de peixe por hectare/ano
Superintensiva	60 a 120 kg/m ³ de tanque

Fonte: CALDAS, 2009

Neste contexto, a tecnologia proposta deve suprir a demanda animal em qualidade e quantidade, uma vez que a produção animal está intimamente relacionada ao consumo de água na produção pecuária, e principalmente na produção de aves no Estado, que significa 15,5% da produção avícola brasileira, sendo que os municípios de Concórdia e Xaxim apresentam-se no ranking dos 20 municípios brasileiros com maior efetivo animal (IBGE, 2007).

Espera-se que após a filtração em margem, a água se apresentará dentro dos padrões recomendados pela Resolução CONAMA 357/2005, a qual estabelece a qualidade da água destinada ao consumo animal no que se refere as águas doces de classe 3.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar estudos preliminares e a implantação em escala real da tecnologia da filtração em margem de lago para dessedentação animal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as condições hidrogeológicas do local de estudo;
- Avaliar as características hidráulicas do poço de produção;
- Avaliar a qualidade da água filtrada em margem.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 FILTRAÇÃO EM MARGEM

3.1.1 Histórico

A filtração em margem (FM) de lago (FML) ou de rio (FMR), é um tratamento de água alternativo que se mostra interessante por seu baixo custo e alta eficiência em sistemas de tratamento de água. Esta tecnologia tem sido utilizada em muitos países, a exemplo de Alemanha e Estados Unidos (BANKFILTRATION, 2005). A Companhia de Água do Reino Unido (Glasgow Waterworks), foi uma das primeiras a utilizar da técnica da filtração em margem com o objetivo de abastecimento público, utilizando tubulações paralelas ao Rio de Clyde por volta de 1810 (RAY *et al.*, 2002).

A região oeste da Europa, no Vale do Reno, Alemanha, foi a que recebeu a primeira estação de tratamento apenas por filtração em margem. Devido a limitada disponibilidade de água nos aquíferos, esta região optou por utilizar o novo sistema de tratamento que abasteceu cerca de 600.000 habitantes (RAY *et al.*, 2002). A filtração em margem de lago, por exemplo, tem sido usada na Alemanha há mais de 100 anos e apenas em Berlim cerca de 3,4 milhões de habitantes são abastecidos com 70% de água provinda da filtração em margem (FRITZ *et al.*, 2002 *apud* DASH *et al.*, 2008). Entretanto, apenas nos últimos 20 anos, a Europa tem desenvolvido projetos de pesquisa voltados à filtração em margem, que se relacionam com os aspectos geológicos, hidrológicos e hidroquímicos do local de estudo (BANKFILTRATION, 2005).

Devido ao deterioramento da qualidade das águas superficiais principalmente nos países em desenvolvimento, Índia, Egito, Brasil, entre outros, estão estudando a técnica com o objetivo de produzir água de melhor qualidade para a população. No Egito, no ano de 2004, nas margens do Rio Nilo foi implantado um sistema em escala real de FM na cidade de Sidfa, com o objetivo de atender 30.000 pessoas (SHAMRUKH e ABDEL-WAHAB, 2008). Na Índia, as margens do

Lago Nainital, foi montado um experimento para analisar a qualidade da água filtrada em margem com objetivo de expansão para escala real (DASH *et al.*, 2008).

No Brasil, os primeiros estudos para a implantação da FM em lago foi realizado em 2004 na Lagoa do Peri, na cidade de Florianópolis, que mostrou resultados relevantes do ponto de vista da tratabilidade. No trabalho desenvolvido por Rabelo (2004), avaliou-se a tratabilidade da filtração em margem através de colunas de sedimentos visando a remoção de microalgas e cianobactérias.

Com os resultados obtidos no estudo citado anteriormente, Sens *et al.*, 2006 avaliaram a filtração em margem como pré-tratamento à filtração direta na remoção de cianobactérias e saxitoxinas onde obtiveram 100% de remoção para ambos os parâmetros já na filtração em margem.

É sabido que existe um grande número de poços localizados em aquíferos aluvionares ou glaciais e ainda em vales próximo a rios, porém estes não são considerados poços de filtração em margem. Muitas das vezes a água retirada desses poços está sob condições de estado estacionário, entretanto, poderão ocorrer eventos ou circunstâncias que poderá modificar a zona de captação desses poços; tais como inundações sazonais, explorações de areia e pedras próximas a rios entre outros; e “ativar” o processo de filtração em margem (RAY *et al.*, 2002).

3.1.2 Tipos de Poços de Produção

Segundo a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas - ABAS (2009), o Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campo Grande - DEC (2009) e a Center Poços Águas Subterrâneas e Mineração (2009), existem vários tipos de poços artesianos e estes são classificados baseados em sua profundidade, pois esta é quem determina o método construtivo. São eles:

a) Poços Rasos

- Poço Escavado

É a forma mais antiga de perfuração de poços e exploração de águas subterrâneas e é a mais utilizada pela população rural brasileira podendo receber nomes distintos, dependendo da região:

cisterna, cacimba, cacimbão, poço amazonas, poço caipira ou apenas poço. Sua forma é cilíndrica e são abertos manualmente podendo o diâmetro variar de 1 a 2 metros. Este poço se caracteriza também pela periculosidade do trabalho, portanto, recomenda-se realizar este trabalho apenas com pessoal devidamente treinado. O poço deve ser bem fechado em sua superfície para que se evite água contaminada provinda da mesma (Figura 1).



Figura 1 – Esquema de um poço escavado.
Fonte: ONG - Fazenda Natureza, 2009.

- Ponteiros Cravadas

As ponteiros se caracterizam por ser uma haste perfurada, revestida em tela (normalmente manta sintética) ou por material de filtro do solo (areia ou pedrisco) que é cravada no terreno, onde retira-se água por bombeamento. São muito versáteis e uma ótima solução para poços rasos e de baixo custo. Os segmentos de tubo conectados a ponteira deverão ser bem vedados para evitar a entrada de ar e prejudicar a sucção de água por bombeamento. O diâmetro desses poços variam de 4 a 5 centímetros e, portanto, são majoritariamente utilizados na construção civil para rebaixamento de lençol freático (Figura 2).

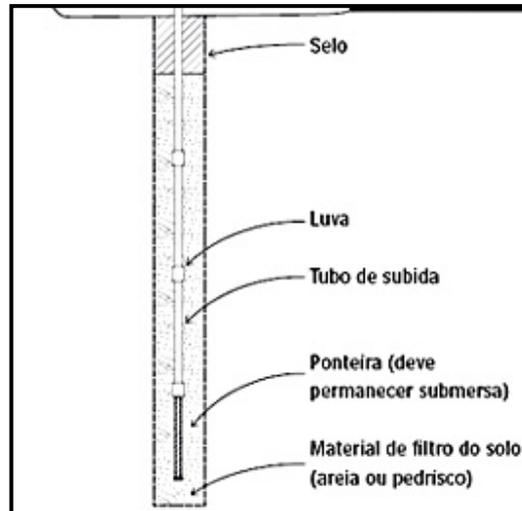


Figura 2 – Esquema de ponteira cravada.
Fonte: FARIA, 2009.

- Poço a Trado

Este tipo de poço é perfurado com uma ferramenta manualmente (trado manual) ou com a ajuda de um motor (trado mecânico), com diâmetros variando de 5 a 24 centímetros. O poço é escavado até atingir o lençol freático, onde, então coloca-se tubos para proteger a parede do poço evitando o desmoronamento. São aconselhados para lençol freático de pequena profundidade e grande vazão (Figura 3).



Figura 3 – Foto da escavação de um poço a trado manual.
Fonte: GeoEnvi, 2009.

- Poço Radial

São poços escavados e que foram colocadas ponteiras horizontais na parte inferior do mesmo, em um arranjo radial (Figura 4). Os raios tendem a aumentar a área de captação de água fazendo com que o poço produza mais que os simplesmente escavados (de Sá do Serviço Geológico Brasileiro (1999); Ray et al., (2002); e Sens *et al.*, (2006). Hunt *et al.*, (2002) reportam que este tipo de poço

é largamente utilizado nos em estações de tratamento de água nos Estados Unidos onde se utiliza águas subterrâneas.

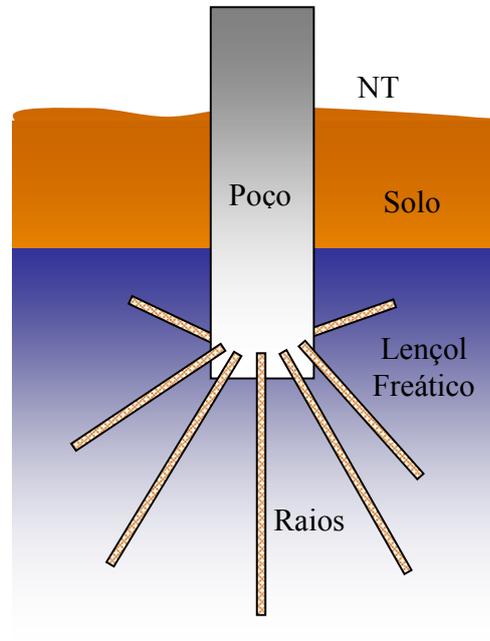


Figura 4 – Esquema de um poço radial.

b) Poços Profundos

Quando os poços captam água de lençóis entre duas camadas impermeáveis são chamados de poços profundos, e sua profundidade pode variar de 40 a 1000 metros. O diâmetro desses poços pode variar de 10 a 30 centímetros. A perfuração desses poços exige mão-de-obra e equipamentos especiais e normalmente são utilizados para o abastecimento de cidades devido ao elevado custo de construção.

Os métodos de perfuração mais utilizados são: a percussão, onde a rocha é perfurada pela batida de um equipamento chamado trépano. Os fragmentos de rocha são retirados do poço por um equipamento chamado caçamba. Este tipo de perfuração é recomendada para formações geológicas bem consolidadas ou rochas duras e profundidades de até 250 metros. Outro método de perfuração é a rotativa, onde se utiliza um broca ao mesmo tempo que circula lama no poço que serve para refrigerar o equipamento, trazer os fragmentos para a superfície e segurar as

paredes do poço. Este método é indicado para formações geológicas moles e grandes profundidades.

No Brasil, o órgão responsável pela normatização técnica no país, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), aprovou as Normas Brasileiras que consideram as águas subterrâneas e os poços tubulares profundos; são elas: NBR 12212 – Projeto de poço tubular profundo para captação de águas subterrâneas, a NBR 12244 – Construção de poço tubular profundo para a captação de água subterrânea, as NBR's 13604, 13605, 13606, 13607 e 13608 – Dispõem sobre tubos de PVC para poços tubulares profundos e a NBR 13895/1997 – Dispõe sobre poços de monitoramento.

3.1.3 Funcionamento Hidráulico da FM

A tecnologia da filtração em margem consiste basicamente na captação da água no subsolo por um poço localizado a margem de um manancial, desta forma ocorre o rebaixamento do lençol freático adjacente ao manancial por bombeamento, formando um cone de depressão que favorece a infiltração induzida do corpo d'água superficial no solo/subsolo. Quando a capacidade de recarga do aquífero se iguala a vazão bombeada pelo poço, o cone de depressão e conseqüentemente, o nível dinâmico se estabelece definitivamente. Esta tecnologia tem como princípio básico utilizar os sedimentos do manancial como meio filtrante, assim, poços de captação são construídos nas margens do corpo d'água para que se forme artificialmente através de bombeamento, um gradiente hidráulico capaz de levar água do manancial até o poço de produção, desta maneira, os contaminantes serão removidos no percurso (Figura 5).

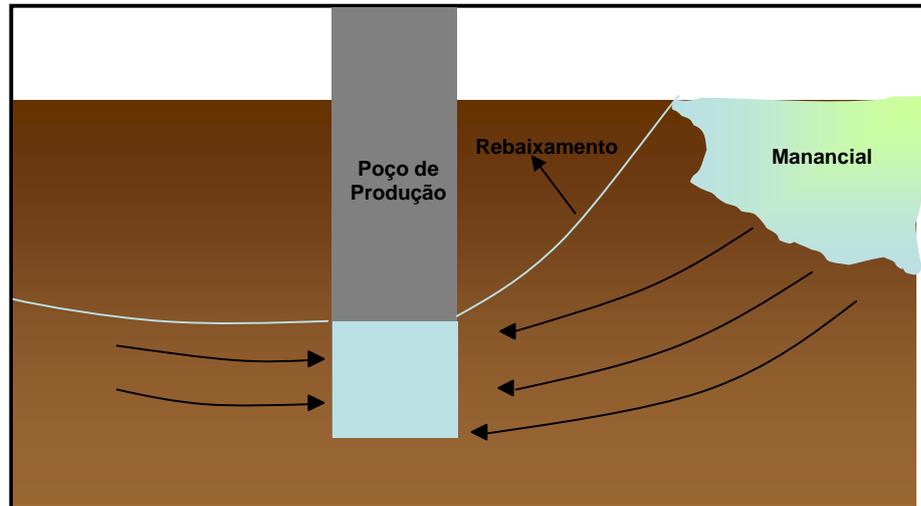


Figura 5 - Desenho esquemático do funcionamento da FM.

Na implantação da FM, deve-se considerar vários aspectos e avaliar uma série de parâmetros que podem afetar o desempenho do sistema, tais como (RAY *et al.*, 2002; SENS *et al.*, 2006):

- A capacidade de indução de água no aquífero pelo manancial;
- A qualidade da água superficial a ser utilizada;
- As velocidades de escoamento da água, em caso de rio;
- Características geológicas do entorno e do fundo do manancial;
- Sazonalidade do escoamento;
- Estabilidade do leito do manancial.

Uma investigação hidrogeológica do entorno do local onde se pretende instalar o poço de produção é de fundamental importância, pois desta maneira consegue-se avaliar as características hidráulicas das diferentes formações geológicas para que se possa selecionar a formação mais adequada para a FM. Estas investigações então, nos guiarão para que possamos selecionar o método mais eficiente de escavação do poço de filtração em margem, utilizando assim o máximo rendimento deste (RAY *et al.*, 2002; SENS *et al.*, 2006). Segundo Schubert (2001), informações hidrogeológicas devem ser consideradas para que se retarde o processo de colmatção do fundo do manancial.

3.1.4 Vantagens e Desvantagens da FM

Como todo tratamento de água, a filtração em margens tem vantagens e desvantagens. Esta filtração permite a remoção de partículas, bactérias, algas, vírus, parasitas, compostos facilmente biodegradáveis, contaminantes orgânicos persistentes e altas concentrações de metais pesados. Segundo Schubert, (2006) como a filtração em margem é capaz de remover matéria orgânica natural e, conseqüentemente, capaz de remover precursores da formação de trihalometanos. A redução da atividade mutagênica nos microrganismos através da redução de agentes físicos, químicos ou biológicos e a compensação na variação de carga no manancial superficial também são vantagens apontadas pelo pesquisador. Além disso, a filtração em margem age como etapa do pré-tratamento, onde utiliza processos naturais para assegurar a sustentabilidade da água bruta, permite a otimização no processo de tratamento.

Dentre os benefícios imediatos da FM, está a redução no uso de produtos químicos nas diferentes etapas de tratamento, bem como o custo de operação dos sistemas de tratamento (RAY *et al.*, 2002; SENS *et al.*, 2006).

Dentre os problemas enfrentados por essa tecnologia incluem a contaminação da água por compostos persistentes (pesticidas e farmacêuticos) e a dificuldade no processo de monitoramento. Segundo Stuyzand *et al.*,(2006), a FM possui as desvantagens de impedir a infiltração de água no solo quando tem-se água bruta de qualidade não desejável, a ocorrência de reações químicas durante o processo de infiltração quando há depósitos de lodo no leito, podem aumentar a concentração de Fe^{2+} , Mn^{2+} , As, NH_4^+ , CH_4 , Ca^{2+} e HCO_3^- e o risco de colmatação do fundo do manancial .

Hiscock e Grischek (2002), afirmam ainda que esta técnica tem pouca eficiência se utilizada como único tratamento de água com muita cor, dureza elevada e grande número de produtos orgânicos sintéticos. Assim, a filtração em margem não deve ser utilizada como forma única no tratamento e sim como pré-tratamento de água.

3.1.5 Principais Processos que Ocorrem Durante a FM

Sabe-se que nem todos os fenômenos envolvidos na FM são conhecidos quando ocorre a passagem da água pelo solo. Entretanto, o processo de infiltração remove uma série de contaminantes e assim, evita-se que estes poluentes alcancem o poço de produção e, conseqüentemente, a estação de tratamento de água. Os principais processos envolvidos na filtração em margem são a filtração, biodegradação, sedimentação, adsorção, dispersão e diluição (RAY *et al.*, 2002; SENS *et al.*, 2006).

A filtração mecânica ou induzida, faz com que ocorra remoção de material em suspensão, incluindo substâncias orgânicas hidrofóbicas adsorvidas nos sólidos em suspensão. No fundo do lago ou rio e nos primeiros centímetros de solo durante a infiltração, são encontradas condições aeróbicas que colaboram para mineralização ou transformação de substâncias orgânicas degradáveis. A quantidade de carbono orgânico dissolvido (COD) diminui e mesmo substâncias orgânicas sintéticas (SOS) podem ser degradadas. A biodegradação de substâncias orgânicas é possível pelo processo de co-metabolismo (FRITSCHÉ, 1985 *apud* WORCH *et al.*, 2002).

Durante o processo de infiltração induzida, a água entra em contato com o subsolo, desta forma ocorre a adsorção de compostos orgânicos neste. O grau de adsorção varia dependendo da natureza do composto e do tipo de material sólido presente no subsolo. De modo geral, o contato da água infiltrada com grandes áreas e uma distância grande entre o poço e o manancial, aumenta a adsorção de substâncias. O processo de diluição da água do lençol freático com a filtrada em margem, pode também causar a diminuição da concentração de poluentes (WORCH *et al.* 2002).

3.1.6 Influência do tipo de solo na FM

No processo de filtração em margem, a constituição geológica do aquífero determinará com a velocidade com que a água infiltrada passará em seu meio e a qualidade da água filtrada em margem. Esta constituição é em função de sua origem geológica tais como fluvial, lacustre, eólica, glacial e aluvial – rochas sedimentares; vulcânicas – rochas fraturadas; e metamórficas –

rochas metamórficas, que determinam os tipos de aquíferos (RAY *et al.*, 2002; SENS *et al.*, 2006).

O sucesso da FM no tocante a produtividade e características da água pretendida, dependem fundamentalmente das características do solo. As ações hidrodinâmicas (advecção, dispersão e difusão), mecânica (o arraste de partículas no meio poroso), biológica (degradação e mineralização) e físico-química, podem ocorrer no solo durante a filtração em margem (RAY *et al.*, 2002; SENS *et al.*, 2006).

O transporte de colóides em aquíferos se dá basicamente por advecção, dispersão, agregação e desagregação. Os mecanismos de agregação e desagregação dependem basicamente do tipo de solo e da condutividade hidráulica neste (SOARES *et al.*, 2005). Solos contendo matéria orgânica e solos argilosos favorecem os mecanismos de adsorção e complexação, desta maneira ocorre a degradação da população bacteriana e compostos indesejáveis (RAY *et al.*, 2002; SENS *et al.*, 2006).

Informações sobre o tipo de solo, tais como, condutividade hidráulica, porosidade, análise granulométrica e teor de matéria orgânica, são importantes na implantação de sistemas de filtração em margem. Tais informações podem ser adquiridas em estudos envolvendo sondagens de solo, ensaios de permeabilidade hidráulica, testes de bombeamento e ensaios químicos da constituição do solo. A Figura 6 mostra um gráfico do qual se obtêm a porosidade de alguns materiais sedimentares.

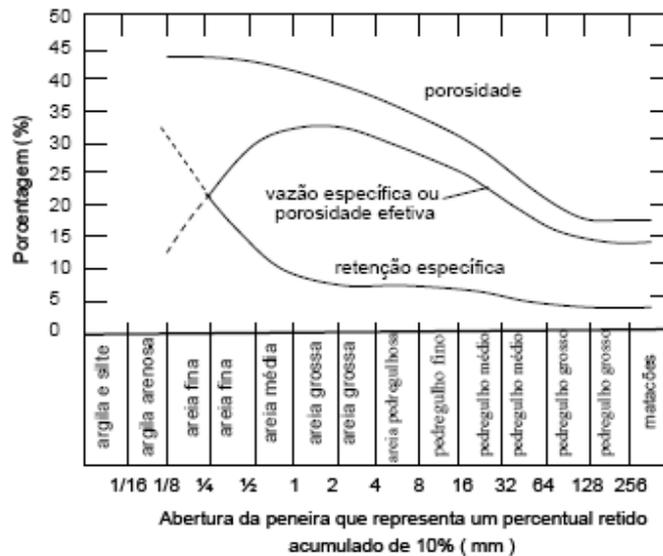


Figura 6 – Gráfico da porosidade de alguns materiais sedimentares.
 Fonte: Pompeu dos Santos, (1977) *apud* Sens *et al.*, (2006).

Em materiais porosos e permeáveis a infiltração é favorecida. O aquífero terá melhor capacidade de conduzir água, se existir uma maior homogeneidade do tamanho e da distribuição dos poros, além da maior interconexão entre eles (CETESB, 2009). A condutividade hidráulica, está relacionada à facilidade do aquífero em conduzir água, e depende das características do meio e da viscosidade do fluido (FEITOSA E MANUEL FILHO, 2000 *apud* CETESB, 2009). Problemas práticos como a drenagem, o rebaixamento do nível da água, o cálculo das vazões, análises de recalque, entre outros, podem ser premeditados através do estudo da permeabilidade ou condutividade hidráulica (MARANGON, 2006).

Quanto menor a granulometria do solo em conjunto com matéria orgânica, maiores são as forças capilares e a tensão superficial, sendo estas contrárias a gravidade e, portando, impedem/dificultam a passagem de água pelo solo (NASCIMENTO, 2002). Desta forma, solos formados por aluvião são solos que merecem destaque do ponto de vista da FM, pois são rasos e de alta produtividade, uma vez que a porosidade e a vazão específica do solo nesse tipo de solo são consideráveis. A Tabela 3 classifica a produtividade de alguns aquíferos em função das propriedades físicas.

Tabela 3 – Características físicas e produtivas de alguns materiais.

Material	Vazão Específica (%)	Condutividade Hidráulica (cm/s)	Características do Escoamento
Pedregulho	25	1 - 100	Aquíferos Bons
Areia + pedregulho	20	10^{-2} - 1	Aquíferos Bons
Areia fina, arenito	10	10^{-3} – 10^{-2}	Aquíferos pobres
Argila com misturas	5	10^{-5} a 10^{-4}	Aquíferos muito pobres
Argila, silte e outros depósitos	3	10^{-9} – 10^{-6}	Impermeáveis

Fonte: Adaptado de Yassuda e Nogami (1978)

3.1.7 Tempo de percurso da água

O tempo de percurso da água no solo é importante, pois através deste parâmetro é que poderemos avaliar a real capacidade de degradação de um composto pelo solo. Porém, é importante ressaltar que a degradação do composto no solo irá depender das propriedades físicas, químicas, biológicas e de interações com o meio deste (RAY *et al.*, 2002; SENS *et al.*, 2006). Tal tempo de percurso pode ser determinado pela equação de Darcy, onde por uma transformação matemática consegue-se obter tal parâmetro, porém um tempo de percurso real pode ser diferente do tempo calculado pela Lei de Darcy, devido as diversas interações hidrogeológicas (DASH *et al.*, 2008).

Existe ainda outros métodos para se avaliar o tempo de residência no solo, o uso de substâncias traçadoras por exemplo, pode ser uma alternativa na determinação deste parâmetro. Em um estudo realizado pelo pesquisador Jack Wang na cidade de Louisville, Estados Unidos, foi utilizado a temperatura como substância traçadora natural para que se pudesse avaliar o tempo de residência (WANG *et al.*, 2002).

Segundo Dash *et al.*, (2008), o tempo de percurso entre o poço de produção e o fundo do lago é um parâmetro importante na remoção de turbidez e bactérias. Um tempo de percurso de aproximadamente 60 dias, demonstra ser adequado para inativar bactérias patogênicas a um grau que não forneça mais risco a saúde humana. Ainda segundo o autor, um tempo de percurso de aproximadamente 50 dias é recomendado na Alemanha em sistemas de e tratamento de água por FM, na remoção de microrganismos potencialmente prejudiciais a saúde humana.

O experimento estudado por Dash *et al.*, (2008), onde avaliou-se o tempo residência entre o Lago Nainital na Índia e o poço de produção, percebeu-se que para que se alcance 4 – 5 log de remoção de coliformes durante a filtração em margem no lago, foi necessário um tempo de percurso que varia de 10 a 20 dias. Tal tempo de residência foi alcançado devido a operação contínua do poço de produção que resultou na colmatação do fundo do lago.

Schoenheinz *et al.*, (2002) afirmam ainda que em sistemas com tempo de retenção curtos as mudanças de temperatura afetam o processo de remoção por biodegradação e sorção, e tempos de retenção maiores permitem uma melhor remoção de matéria orgânica natural, devendo então este parâmetro ser considerado e otimizado em sistemas de tratamento de água por filtração em margem.

3.1.8 O processo de colmatação

Dentre os problemas relacionados a filtração em margem, está o processo de colmatação que poderá ocorrer no fundo do manancial no decorrer do tempo. Segundo Rieses, (1975) *apud* Schubert (2001), o processo de colmatação no fundo do manancial durante a operação do sistema de FM é inevitável.

O fluxo na área de infiltração é permanentemente direcionado do manancial para o aquífero, os sólidos em suspensão não conseguem infiltrar no aquífero e portanto, são removidos e conseqüentemente, depositados na camada superior do aquífero ou fundo do manancial (colmatação mecânica). As áreas colmatadas tendem a se expandir das margens para o meio do manancial. Nos casos em que se tem como manancial um rio, a camada colmatada é muitas vezes retirada pelo simples aumento de vazão e, conseqüentemente, o aumento da força de arraste no fundo deste (SCHUBERT, 2001). Quando o manancial de superfície reduz a vazão e a velocidade de escoamento, a sedimentação de material em suspensão pode se tornar um grande problema para a FM (STUYFZAND *et a.l.*, 2006).

Ainda segundo Shubert, (2001), altas cargas de substâncias biodegradáveis na água bruta de estudo podem causar a chamada colmatação química na área de infiltração, devido a fortes

mudanças no potencial redox e no pH, que podem causar precipitação de substâncias (FeCO_3 , por exemplo) nos poros do aquífero, desta maneira, a qualidade da água deverá ser considerada e cuidadosamente analisada. Além do mais, a quantidade, tipo e tamanho dos sólidos em suspensão influenciarão no processo de colmatção.

Além da qualidade da água bruta, parâmetros como tipo de material encontrado no fundo do manancial também pode ser um problema. Materiais de diâmetro maior como cascalho, tem maior potencial de colmatção que a areia que é periodicamente limpa por variação de vazão. Apesar da areia ser menos permeável que o cascalho, essas são capazes de receber em média taxas maiores de recarga por um tempo maior em sistemas (semi)naturais. Isto se explica, devido a facilidade de remoção da camada colmatada durante as variações de vazões nas areias, diferentemente nos cascalhos (STUYFZAND *et al.*, 2006). Em resumo, em cascalhos há uma infiltração do material sedimentado enquanto em areias o material se localiza apenas na superfície, sendo mais fácil de ser retirado (Figura 7).

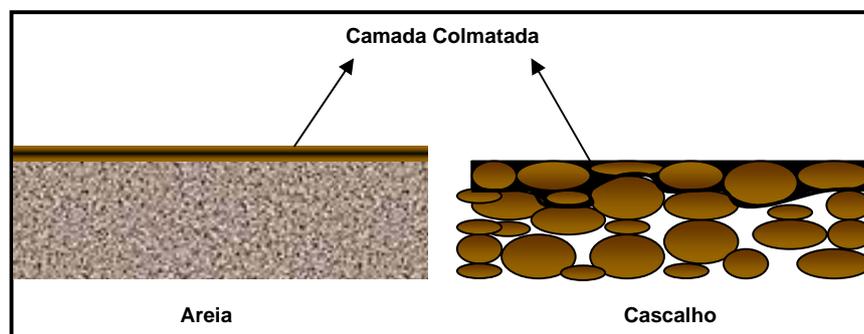


Figura 7 - Colmatção em diferentes tipos de solo

De acordo com Dash *et al.* (2008), na colmatção de lagos pela FM, os organismos bentônicos revolvem e comem a camada colmatada, ajudando assim no processo de “limpeza” das margens. Portanto, durante a operação de sistemas de FM em lagos há um processo de auto-limpeza por esse organismos. Além disso, a movimentação da água no lago em dias de vento ajuda a “lavar” as margens, contribuindo para o processo de limpeza da região. Segundo técnicos da EPAGRI, as carpas prateadas têm ainda a característica de remover materiais sedimentados no fundo do manancial, contribuindo também com o processo de limpeza do mesmo.

3.1.9 Aspectos comuns entre a Filtração em Margem e a Filtração Lenta

A filtração lenta e a filtração em margem convergem em muitas situações, tais como velocidade de filtração, remoção de partículas, microrganismos e substâncias biodegradáveis. A escolha para o uso dessas tecnologias depende basicamente da situação hidrogeológica do local e de parâmetros como custo, manutenção, operação e etc. (RAY *et al.*, 2002). A filtração em margem é mais recomendada como pré-tratamento se comparada a filtração lenta (RAY *et al.*, 2002; SENS *et al.*, 2006).

A filtração lenta é um processo de purificação onde a água bruta passa por um meio filtrante de areia. A taxa de filtração é na maioria das vezes entre 2 a 6 m³/m².d. Esta tecnologia é considerada de baixo custo e eficiente na remoção de partículas suspensas, contaminantes biodegradáveis e microrganismos patogênicos. Ela é ainda aconselhada para água bruta de melhor qualidade (turbidez ≤ 10 uT e cor + turbidez ≤ 50). Por outro lado, como a filtração em margem admite taxas de infiltração menores, ela permite o seu uso em água bruta de pior qualidade (RAY *et al.*, 2002; SENS *et al.*, 2006).

Durante a filtração lenta, uma camada orgânica chamada “schmutzdecke” é formada na camada superior do meio filtrante. Esta camada age como uma barreira biológica que remove contaminantes, no entanto esta camada colmata o meio filtrante e periodicamente há a necessidade de limpeza do mesmo (RAY *et al.*, 2002).

O processo da filtração em margem tem algumas similaridades se comparada a filtração lenta. A formação da camada biológica similar ao “schmutzdecke” é formada na interface manancial/aquífero, especialmente quando a velocidade de escoamento do rio é baixa, e esta é “lavada” devido a variação de vazão do rio. Quando a camada biológica é retirada, o sistema de filtração em margem se torna vulnerável ao arraste de substâncias através do solo. A velocidade média de infiltração da água para coletores de pequena capacidade chega a 1,5 x 10⁻⁵ m/h, podendo variar também de 0,12 a 0,16 m/h (CLEASBY, 1990 *apud* RAY *et al.*, 2002). Esta variação de velocidade está próximo a dos filtros lentos, que está entre 2 e 5 m/d (WANG *et al.*, 2002).

Quanto a remoção de contaminantes tal como *Cryptosporidium*, se a filtração lenta for utilizada como tratamento primário, poderá remover até 4,7-log, segundo Hijnen *et al.* (2007), e a filtração em margem pode alcançar remoções de até 1-log do contaminante (SCHIJVEN *et al.*, 2002).

Em resumo, a filtração em margem, natural ou induzida, por intermédio de bombeamento por um sistema de poços, tem fornecido meios para fontes de águas públicas. Este tratamento depende das atividades microbianas e das transformações químicas presentes nas camadas do meio filtrante, que vem a colmatá-lo. As interações biogeoquímicas é que sustentam a qualidade do meio filtrante o que depende da mineralogia do aquífero, das concentrações presentes do oxigênio, do nitrogênio presente na superfície da água, da matéria orgânica e do uso do solo no entorno do manancial (HISCOCK e GRISCHEK, 2002).

Com base nos estudos pesquisados, observa-se que a tecnologia da FM vem a ser uma técnica eficiente e de baixo custo no tratamento de água para abastecimento. Esta tecnologia associada a outra pode trazer resultados ainda mais interessantes do ponto de vista da potabilidade. Tendo em vista as secas ocorridas no oeste do Estado de Santa Catarina nos últimos anos, pretende-se neste trabalho avaliar esta tecnologia de modo a atender os objetivos propostos.

4. METODOLOGIA

4.1 LOCAL DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida na cidade de Ituporanga, a 180 km de Florianópolis, (Figura 9) pertencente à sub-bacia do Rio Itajaí do Sul que abrange 10 municípios no estado de Santa Catarina: Alfredo Wagner, Agrolândia, Agronômica, Atalanta, Aurora, Chapadão do Lageado, Imbuia, Ituporanga, Petrolândia e Rio do Sul. O município situa-se na região centro-leste do Estado e tem como principal fonte econômica a agricultura minifundiária, na qual predomina os plantios de cebola, fumo, milho, feijão e melancia. Além disso, atua como a maior produtora de cebola do país. O principal município nesta sub-bacia é Ituporanga, com 20.577 habitantes, mesmo com uma pequena parcela do município de Rio do Sul (51.650 habitantes) pertencendo à mesma (IBGE, 2007).

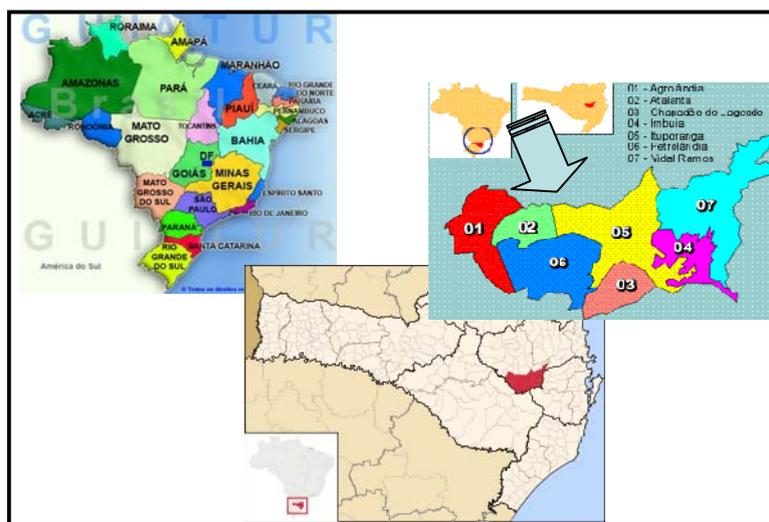


Figura 10 - Localização da cidade de Ituporanga.
Fonte: Yahoo Geocities, 2009

A região apresenta ainda uma estação experimental da EPAGRI que possui lagos de piscicultura dentro das características pretendidas neste estudo que possui área de aproximadamente 30.000

m² (Figura 8). A estação experimental de Ituporanga tem por finalidade, promover ações de pesquisa para o desenvolvimento sustentável do meio rural do Alto Vale do Itajaí em benefício da sociedade; pesquisar, desenvolver processos e tecnologias; prestar serviços e difundir princípios para o desenvolvimento da agricultura e a preservação do meio ambiente do Alto Vale do Itajaí; servir de referência nas áreas de agroecologia e qualidade ambiental. A Estação estende sua área de abrangência por toda a Região do Alto Vale do Itajaí, que tem na agricultura familiar sua base econômica.



Figura 8 – Foto aérea da localização da Estação Experimental da EPAGRI de Ituporanga e do lago de estudo.
Fonte: Google Maps, 2008.

A área física, de 62 ha, se destina à condução das pesquisas de campo, unidades de observação e de demonstração, produção de sementes e mudas, e também à preservação ambiental e reflorestamento. A sede tem uma área construída de 2.036 m², quase metade dela destinada à área técnico-administrativa e laboratórios, a outra metade destinada ao apoio às atividades de pesquisa (EPAGRI, 2006).

A pesquisa tem por base o estudo para a implantação da filtração em margem em lago de piscicultura para dessedentação animal, esperando que esta se enquadre dentro dos parâmetros de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005. Para alcançar os objetivos

propostos, foram realizadas investigações hidrogeológicas como sondagem do solo, análise da permeabilidade hidráulica saturada de amostras de solo do entorno do lago e de amostras das margens do mesmo. A definição do local de perfuração do poço de produção foi possível com os resultados das análises acima citadas. O potencial de produção de água do poço, foi realizado por teste de bombeamento. Parâmetros como tempo de residência hidráulico e avaliação do grau de diluição da água filtrada em margem, também foram considerados. Por fim, foi analisada a qualidade da água filtrada em margem, tendo por base parâmetros físico-químicos bacteriológicos.

4.2 IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

4.2.1 Implantação da Filtração em Margem

O sistema piloto de filtração em margem é composto basicamente por um poço tubular implantado na margem do lago, onde a água será bombeada através de bombas centrífugas até a superfície sendo então coletada e analisada.

Para a implantação da filtração em margem foi necessário um estudo investigativo preliminar das características do solo do entorno do lago bem como do fundo do mesmo. A avaliação das condições hidrogeológicas do local foi imprescindível para o sucesso do sistema. O processo de investigação hidrogeológica tem como objetivo avaliar as características hidráulicas de cada formação, selecionando os mais apropriados e selecionar o método mais eficiente na definição do tipo de poço, utilizando o máximo rendimento (SENS *et al.*, 2006). Assim, seguimos o seguinte roteiro para a implantação do sistema:

- Sondagem de Solo;
- Análise de Permeabilidade Hidráulica Saturada;
- Perfuração do Poço de Produção;
- Teste de Bombeamento;

- Avaliação do Tempo de Residência;
- Avaliação do Grau de Diluição da Água Filtrada em Margem.

a) Sondagem de Solo

A filtração em margem é uma técnica que exige do solo certa permeabilidade para que o processo de filtração induzida aconteça efetivamente. Para tanto, o conhecimento das características do solo do local de estudo se faz necessário para a escolha do melhor local para a implantação do poço de produção. Desta maneira, sondagens no entorno do lago de estudo foram realizadas para se obter as informações hidrogeológicas necessárias, como tipo de solo, características das camadas e profundidade do lençol freático. O método utilizado foi a sondagem a percussão e os locais escolhidos para se coletar as amostras podem ser observados na Figura 9.



Figura 9 - Localização dos pontos de amostragem. Fonte: Google.

De acordo com os técnicos locais, o local mais profundo do lago localiza-se a jusante da nascente do mesmo, com cerca de 5 metros de profundidade, porém a profundidade média do lago está em torno de 1,5 a 2,00 metros de acordo com os mesmos, portanto, escolheu-se fazer três perfurações nos pontos 1, 2 e 3 para utilizar-se da carga hidráulica existente do lago.

O ponto 4 foi escolhido por apresentar-se em um local teoricamente privilegiado, ou seja, ele encontra-se em um apêndice que se estende para dentro do lago, o que poderia ser extremamente benéfico para a filtração em margem em virtude da contribuição de água que este teoricamente receberia.

O ponto 5 foi analisado por apresentar uma profundidade do lago também considerável, apesar de estar localizado aos pés de uma inclinação de terra, o que no caso da implantação do poço poderia ser influenciado pela água provinda do escoamento sub-superficial. O lado oposto ao ponto 5 não foi analisado por apresentar uma forte inclinação no terreno e teoricamente ser também influenciado pelo escoamento sub-superficial não ocorrendo assim a filtração em margem.

Como comentado anteriormente, o método investigativo utilizado para reconhecimento do solo foi a sondagem a percussão. O equipamento é composto basicamente por um tripé de aço, roldanas, corda, barrilete e motor para bombear água para ajudar na perfuração do poço (Figura 10).

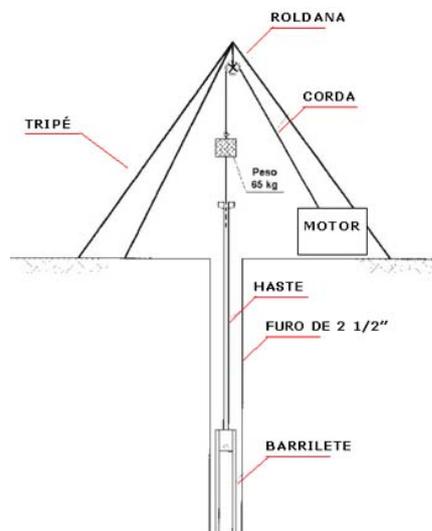


Figura 10 - Equipamento para ensaio a percussão e medição de SPT de subsolo.
Fonte: CAMPOS, 2008

O processo de coleta se inicia quando o tripé de sustentação do amostrador é instalado, então o amostrador de SPT desce através de cravação deixando um martelo de 65 kg cair 75 cm de altura

(no caso deste teste houve ajuda de água). A quantidade de golpes passou a ser utilizado para obter uma aproximação da resistência do solo. Com SPT, faz-se também ensaios de infiltração para medir a permeabilidade. Os golpes se encerram quando a penetração for menor que 5 cm em 10 golpes consecutivos, onde se considera a impenetrabilidade ao barrilete (ABNT, 2007 e CAMPOS, 2008). Para o caso da filtração em margem, usou-se este método (Figura 11) basicamente para coletar amostras das diferentes camadas do solo dos arredores do lago para então se realizar um estudo de granulometria, porosidade e permeabilidade hidráulica das diferentes camadas e desenhar o perfil do solo nos diferentes locais de sondagem.



Figura 11 – Foto da sondagem do solo no local de estudo.

As amostras de solo foram obtidas com o auxílio do coletor instalado ao lado do equipamento de sondagem (Figura 12) e colocadas manualmente em sacos plásticos devidamente identificados com a numeração do ponto de amostragem, posição da camada do solo e data da coleta (Figura 13).



Figura 12 – Foto do coletor de solo instalado ao lado do equipamento de sondagem.



Figura 13 - Foto da coleta das amostras.

A sondagem à percussão é um tipo de teste que utiliza água para perfuração do solo além de um martelo de 65 Kg como comentado anteriormente, portanto, as amostras coletadas para posterior análise de granulometria, porosidade e permeabilidade foram lavadas, podendo alterar de certa maneira os testes comentados acima. As análises de granulometria do solo foram realizadas pela Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina (CIDASC). A definição da porosidade efetiva que, segundo Ralph (1982), expressa quanta água está disponível para consumo humano, ou seja, que irá drenar sob a influência da gravidade, utilizamos o gráfico da Figura 6 do item 3.2.6 e a análise de permeabilidade hidráulica foi realizada no Laboratório de Potabilização das Águas (LAPOÁ) na UFSC.

b) Análise da Permeabilidade Hidráulica Saturada

Sendo a condutividade ou permeabilidade hidráulica saturada do solo, um parâmetro que traduz a facilidade ou dificuldade com que água se movimentava ao longo deste em meio saturado, este parâmetro foi analisado nas amostras de solo mais interessantes do ponto de vista granulométrico e porosidade. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Potabilização das Águas – LAPOÁ na UFSC com o auxílio de um permeâmetro de nível (Figura 14). A amostra que apresentou maior condutividade indicou o melhor local para a implantação do poço de produção, a profundidade da camada e o seu potencial de produção teórico, uma vez que na filtração em margem utiliza-se apenas a camada mais permeável do solo. Definido o local da perfuração do poço, foi realizado também o teste de permeabilidade das margens do lago nas proximidades do poço.

Segundo Alonso (2005), um permeâmetro pode ser de nível constante ou variável e de parede flexível ou rígida dependendo do solo. O permeâmetro utilizado admite a realização de ensaios com solos de granulometria elevada ou não, pois o equipamento permite utilizar carga hidráulica constante ou variável sendo este ainda de parede flexível, ideal para amostras saturadas.

Este permeâmetro consiste basicamente de um cilindro de aço de 10 cm de altura e área de $1,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, onde é colocada a amostra, que recebe uma carga hidráulica de 69,8 cm a partir do tubo de coleta, se a carga hidráulica for constante (para solos de boa permeabilidade) e qualquer altura acima desta até um limite de 80 cm também a partir do tubo de coleta, se a carga hidráulica for variável (para solos de baixa permeabilidade). No caso do teste para solos de boa permeabilidade, é necessário saber o volume de água percolada em um determinado tempo, volume este que pode ser coletado no próprio permeâmetro (Figura 15).

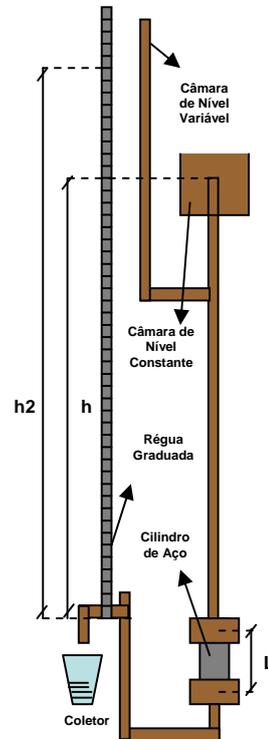


Figura 14 - Esquema do permeâmetro de nível utilizado.

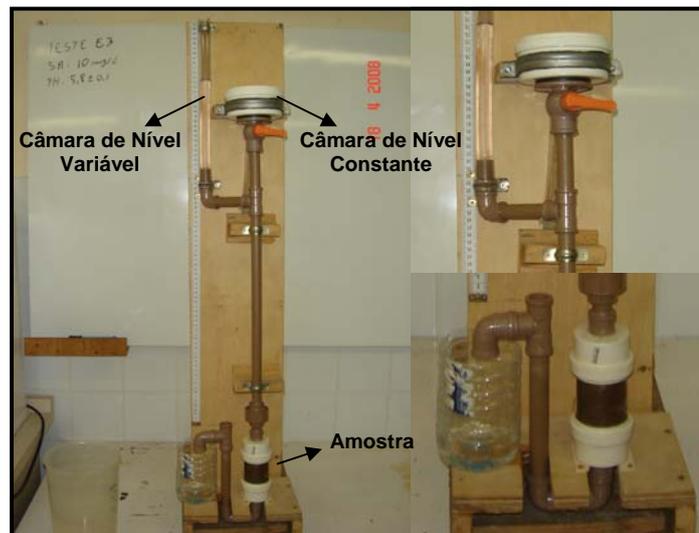


Figura 15 – Foto do permeâmetro de nível utilizado.

Para o cálculo do coeficiente de permeabilidade (K), utilizou-se das seguintes equações, seguindo derivações da Lei de Darcy:

Se a carga hidráulica for constante (solos de boa permeabilidade) (Equação 1):

$$K = \frac{V \cdot L \cdot 0,0864}{A \cdot h \cdot t} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,

K – coeficiente de permeabilidade (m/d);

V – volume de água permeada (ml);

L – comprimento do corpo de prova (m);

A – área da seção transversal do corpo de prova (m²);

h – carga hidráulica aplicada (m);

t – tempo de percolação (s).

Se a carga hidráulica for variável (solos de baixa permeabilidade) (Equação 2):

$$K = \frac{86400 \cdot L \cdot a}{A \cdot t} \left(\ln \frac{h_2}{h} \right) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde,

K – coeficiente de permeabilidade (m/d);

L – comprimento do corpo de prova (m);

A – área da seção transversal do corpo de prova (m²);

a – área da seção transversal do tubo alimentador (m²);

h₂ – carga hidráulica inicial (m);

h – carga hidráulica final (m);

t – tempo de percolação para baixar de h₂ até h (s).

Para a realização do teste, primeiramente as amostras foram colocadas em um béquer onde receberam água destilada até que ficassem saturadas (Figura 16). Posteriormente, uma a uma, foram colocadas no cilindro de aço do permeâmetro por onde receberiam a carga de água (constante ou variável) de acordo com sua granulometria e foi anotado o tempo, com o auxílio de um cronômetro, que as amostras levaram para percolar certa altura de água, no caso de carga variável, e coletado o volume de água percolada, no caso de nível constante.



Figura 16 – Saturação das amostras em béquer com água para teste de permeabilidade.

Além de avaliar a condutividade hidráulica no solo nos arredores do lago, foi analisada a condutividade hidráulica nas margens do mesmo (dentro do lago), que é de onde o poço recebe teoricamente a maior contribuição de água. O objetivo de se investigar o fundo do lago foi para obter informações sobre a estrutura hidrogeológica básica do local e identificar uma possível camada de colmatção, que poderá interferir na produção de água do poço. Foi considerado para este teste, a constituição do sedimento das margens do lago homogênea, portanto retirou-se amostras apenas do local próximo ao poço de produção.

Para a coleta das amostras, utilizou-se uma técnica diferente e mais econômica, onde amostradores de tubos de PVC de 100 mm de diâmetro de 50 cm de altura devidamente identificados (Figura 17).



Figura 17 – Foto dos amostradores para coleta de sedimento das margens do lago.

As amostras foram retiradas manualmente pela cravação do tubo de PVC nos sedimentos do lago até atingir uma profundidade de aproximadamente 20 cm a começar pela parte mais rasa do lago (margem) para a parte mais profunda, espaçadas em 0,5 metros chegando a uma distância de no máximo 1,5 metros da margem (Figura 18 e Figura 19). Segundo Schubert (2001), as regiões mais profundas tendem a sofrer mais com a colmatção assim dificultando a percolação de água para o poço de captação diminuindo sua produção, que as regiões próximas as margens, desta forma, foi avaliada apenas as regiões adjacentes a margem, pois em se tratando de um lago pequeno onde a movimentação hidráulica é extremamente baixa, a parte mais profunda do lago teria uma grande probabilidade de estar colmatada.

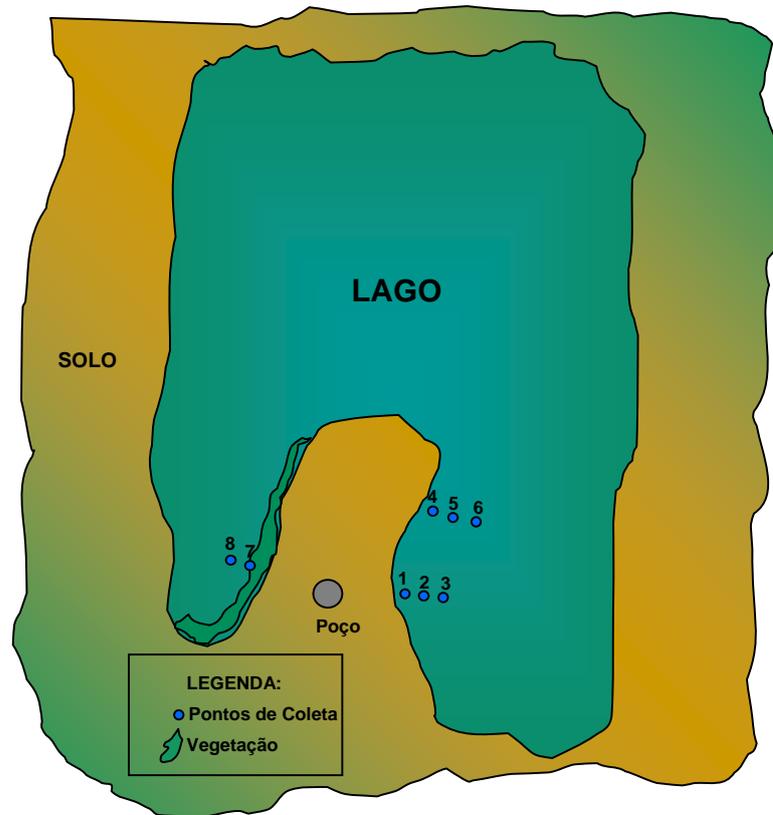


Figura 18 - Localização dos pontos de coleta das amostras do fundo do lago.



Figura 19 – Foto da coleta por cravação do tubo de PVC no fundo do lago.

As análises da condutividade hidráulica dos sedimentos do fundo do lago seguiram o mesmo procedimento das análises realizadas no solo dos arredores do lago, ou seja, foi utilizado o permeâmetro de nível que foi detalhado anteriormente. O diferencial desta análise foi que, como as amostras foram coletadas indeformadas, estas foram transferidas para o cilindro de aço do permeâmetro e analisadas em suas características originais, assim os resultados apresentados poderiam alcançar valores muito próximos do real.

A transferência das amostras indeformadas do tubo de PVC para o cilindro de aço do permeâmetro, foi realizada cravando o cilindro de aço na amostra contida dentro do tubo de PVC com o objetivo de manter ao máximo as características originais do solo do lago (Figura 20).

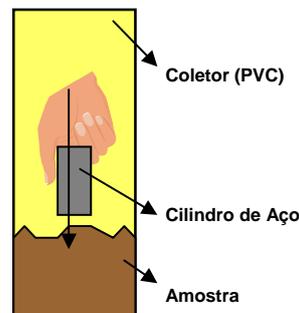


Figura 20 - Transferência das amostras para o cilindro de aço do permeâmetro.

c) Perfuração do poço de produção

Obtidos os resultados das características hidrogeológicas do solo nos arredores e do fundo do lago (granulometria, porosidade e condutividade hidráulica das camadas dos pontos de sondagem), pôde-se definir o melhor local para a implantação do poço de produção da filtração em margem. Para se ter uma estimativa do diâmetro mínimo do poço de produção foi utilizada a equação de Darcy, que pode ser expressa da seguinte forma (Equação 3):

$$Q = K \cdot I \cdot A \quad (\text{Equação 3})$$

Onde,

Q – vazão infiltrada a partir do manancial de superfície (m^3/d);

K – condutividade hidráulica (m/d);

I – gradiente hidráulico (m/m);

A – área da seção de escoamento da água infiltrada (m^2).

Obtidos os resultados da equação de Darcy, foi perfurado o poço, que consiste basicamente de tubos de concreto armado de 1,00 metro de diâmetro e 1,00 metro de altura. Este foi escavado manualmente até que chegasse a camada mais permeável do solo. O anel de concreto nesta camada foi perfurado e os orifícios foram preenchidos com manta sintética não tecida para que não entrasse sedimentos de solo no poço, provocando assim seu assoreamento. O fundo do poço foi preenchido com brita 3 e a válvula de pé com crivo foi mantida a uma distância de 0,15 metros do fundo do poço para que não sugasse sedimentos do fundo, comprometendo a bomba de sucção (Figura 21).

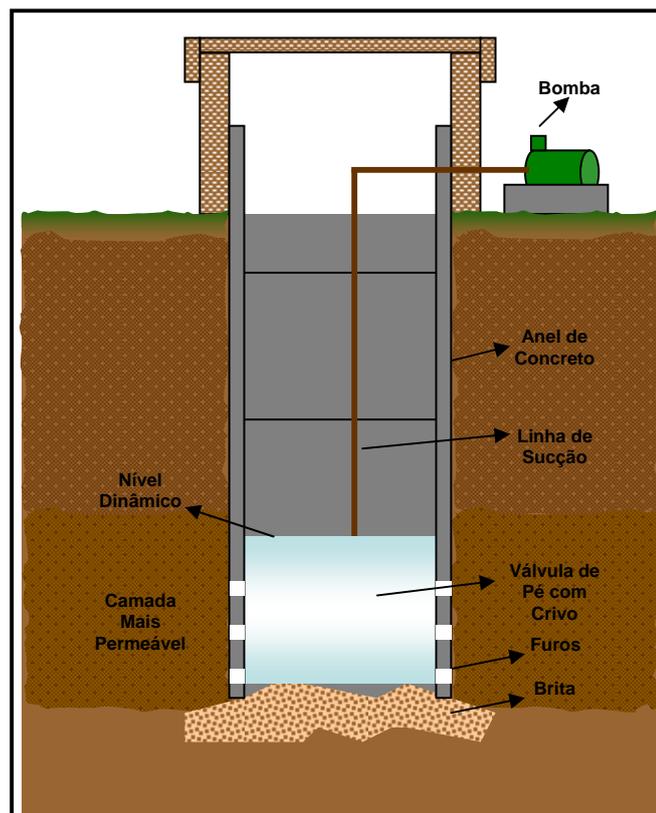


Figura 21 - Esquema ilustrativo do poço de produção.

d) Teste de Bombeamento

Segundo o Serviço Geológico Brasileiro (1998), o teste de bombeamento é uma operação que consiste basicamente no bombeamento de um poço durante certo intervalo de tempo e o registro da evolução do rebaixamento e recuperação em função do tempo.

O equipamento utilizado para a execução do teste de bombeamento foi um sonda eletrônica programável de nível (Levelogger) (Figura 22). Esta sonda é capaz de medir a temperatura, nível de água e tempo automaticamente, armazenando todos os dados em seu sistema de acordo com a programação desejada.



Figura 22 - Ilustração da sonda eletrônica de nível.

Programada a sonda eletrônica (Figura 23), esta foi introduzida no poço que estava com água em seu nível estático até a profundidade da válvula de pé (Figura 24). A bomba de sucção foi ligada e sua vazão foi regulada a 0,06 L/s, então, a partir deste momento a sonda de nível iniciou a captura dos dados desejados armazenando em sua memória (nível de água no rebaixamento e na recuperação). Assim que o nível da água alcançou o nível dinâmico desejado (1,1 metros), ou seja, o nível próximo a válvula de pé (em torno de 0,15 metros acima da válvula), a bomba de sucção foi desligada fazendo com que o poço começasse o processo de recuperação que foi monitorado constantemente pela sonda de nível.



Figura 23 – Foto da programação da sonda eletrônica.

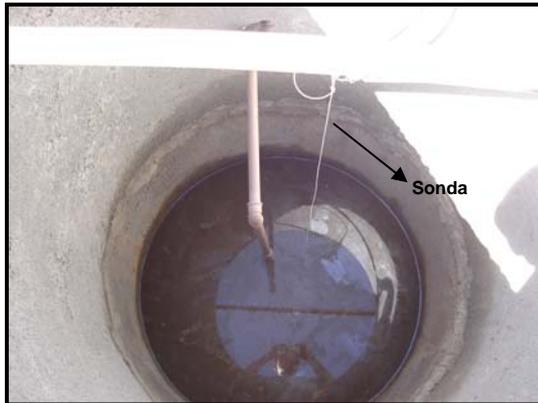


Figura 24 – Foto da introdução da sonda eletrônica no poço.

Os dados foram coletados da sonda de nível após a recuperação completa do poço e transferidos para planilha eletrônica, na qual adotou-se o Processo de Pochet, que utiliza um gráfico Tempo x Nível de Água, para determinar a vazão do poço. O Processo de Pochet se baseia na depressão máxima do cone formado no gráfico para determinar a vazão do poço, em uma determinada profundidade do mesmo (Figura 25) (DACACH, 1984).

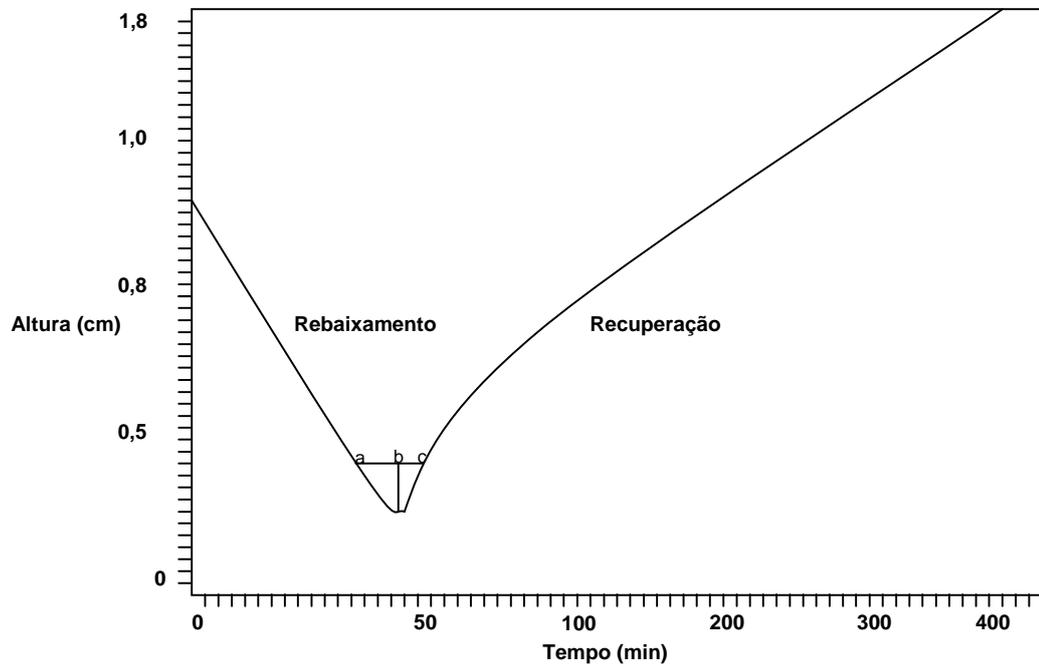


Figura 25 - Exemplo do gráfico do Processo de Pochet.

No Processo de Pochet, para o cálculo da vazão do poço de produção considera-se a seguinte equação (Equação 4):

$$q = \frac{\overline{ab}}{\overline{ac}} \cdot Q \quad (\text{Equação 4})$$

Onde,

q – vazão do poço (L/s);

\overline{ab} – segmento de reta a-b;

\overline{ac} – segmento de reta a-c;

Q – vazão da bomba (L/s).

e) Avaliação do Tempo de Residência

A determinação do tempo de residência da água entre o lago e o poço se faz necessário para que se possa avaliar os possíveis contaminantes que poderão ser removidos durante o percurso desta no subsolo.

Wang (2002), verificou que a medida que o processo de bombeamento se inicia, a temperatura da água no poço de produção (que normalmente é inferior a temperatura da água no manancial e aproximadamente igual a temperatura da água no subsolo) se aproxima da temperatura da água do manancial, desta forma é possível saber o tempo que a água leva para percorrer certo espaço em um determinado tempo, que nos dá o tempo de residência.

Para avaliar o tempo de residência foi necessário instalar poços de monitoramento entre o poço e o manancial estudado. Foram escavados três poços espaçados de 1 metro de distância (Figura 26). Os poços são compostos de tubos de PVC de 100 mm de diâmetro perfurados em sua extensão e enrolados por manta permeável para evitar o assoreamento do tubo por sedimentos do solo (Figura 27). Os poços de monitoramento foram perfurados manualmente até que alcançassem a profundidade do poço de produção (Figura 28).

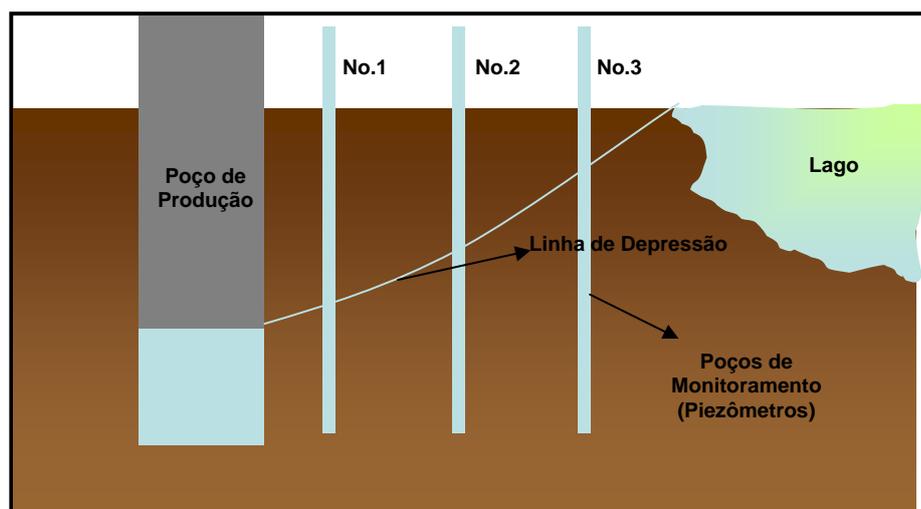


Figura 26 - Localização dos poços de monitoramento.



Figura 27 – Foto dos poços de monitoramento envoltos por manta permeável.



Figura 28 – Foto da perfuração dos poços de monitoramento.

Um método para se avaliar o tempo de residência hidráulico teórico também é possível. Apesar de ser menos preciso que o método prático, que considera todas as iterações do aquífero, com a Lei de Darcy e suas derivações, consegue-se obter tal parâmetro segundo a equação a seguir (Equação 5):

$$v = K \left(\frac{dh}{dl \cdot n_{ef}} \right) \quad (\text{Equação 5})$$

Onde,

V – velocidade (m/d);

K – condutividade hidráulica (m/d);

dh/dl – gradiente hidráulico (m/m);

n_{ef} – porosidade efetiva;

f) Avaliação do Grau de Diluição da Água Filtrada em Margem

A diluição da água filtrada em margem acontece devido a influência que o aquífero exerce sobre o poço de produção. Quanto mais próximo de 100% maior a quantidade de água filtrada em margem por outro lado quanto mais próximo de 0% maior a influência do aquífero no poço de produção.

Para avaliar o grau de diluição da água filtrada em margem foi necessário instalar mais um poço de monitoramento utilizando o mesmo procedimento dos outros já instalados. Este foi instalado a 20 metros de distância a montante do poço de produção (Figura 29). Desta forma, foram coletadas amostras do lago de estudo, do poço e do poço de monitoramento número 4 (assim denominado) e realizado um balanço de massa para determinar o grau de diluição da água filtrada em margem, através da concentração de substâncias traçadoras (cloretos), que segundo Bourg e Bertin (1993), Davis *et al.*,(1997) e Wang (2002) são conservativas e, portanto, passíveis de utilização no teste.

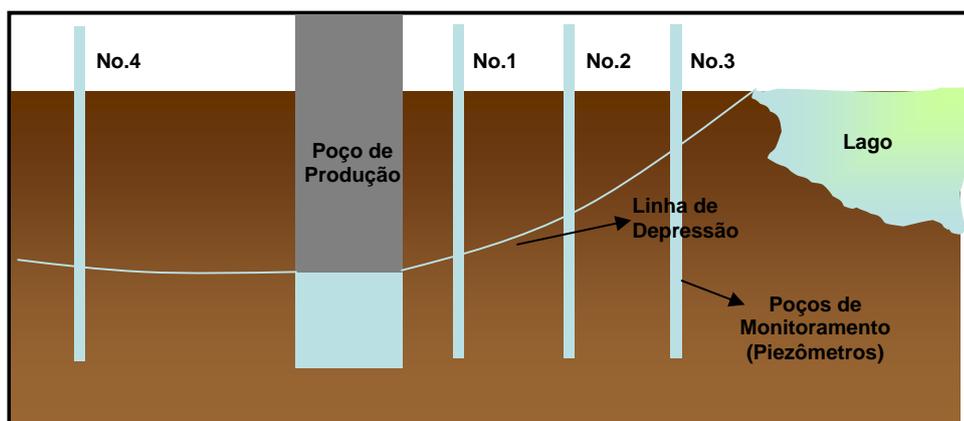


Figura 29 - Localização dos poços de monitoramento 4 e 5.

Para o cálculo do grau de diluição foi utilizada a mesma equação empregada por Bourg e Bertin (1993) e Shamrukh e Abdel-Wahab (2008), como pode ser observada a seguir (Equação 6):

$$B = \frac{C_{pp} - C_{aq}}{C_{al} - C_{aq}} \cdot 100 \text{ (Equação 6)}$$

Onde,

B – porcentagem de água filtrada em margem no poço de produção (%);

C_{pp} – concentração do traçador no poço de produção;

C_{al} – concentração do traçador na água do lago;

C_{aq} – concentração do traçador no aquífero;

4.2.2 Parâmetros de Controle e Métodos Analíticos

Para se considerar a adequabilidade da água em estudo, além das análises de turbidez, cor, nitrito e nitrato, foram analisados os parâmetros de controle citados na Tabela 4. As amostras da água bruta, filtrada em margem serão analisadas através dos seguintes parâmetros e equipamentos: pH (pHmetro YSI F-1550A); cor aparente, nitrito, nitrato, ferro total (espectrofotômetro YSI F-9100); cor verdadeira (filtragem em membrana 0,45µm, leitura em espectrofotômetro YSI F-9100); turbidez (turbidímetro YSI F-9100); temperatura; alcalinidade e OD (sonda YSI F-1550A); condutividade e sólidos totais dissolvidos (condutivímetro portátil HACH); absorvância em 254nm filtrada em membrana 0,45 µm; manganês (espectrofotômetro HACH DR/2010); contagem de Fitoplânctons (em câmara de UTERMOL – RENOLDS - microscópio invertido); coliformes totais e fecais (Colilert[®]). Os procedimentos das análises seguiram os protocolos definidos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (1998).

Tabela 4 – Parâmetros da qualidade da água com sua respectiva periodicidade.

Parâmetros	Caracterização do lago	Operação da FM
	Período	Período
Cor Aparente (uH)	quinzenal	quinzenal
Cor verdadeira (uH)	quinzenal	quinzenal
Condutividade(μ S/cm)	quinzenal	quinzenal
Ferro total (mg/L)	quinzenal	quinzenal
Manganês (mg/L)	quinzenal	quinzenal
Turbidez (uT)	quinzenal	quinzenal
Sólidos totais diss. (mg/L)	quinzenal	quinzenal
Alcalinidade (CaCO ₃ mg/L)	quinzenal	quinzenal
Nitrito (mg/L)	quinzenal	quinzenal
Nitrato (mg/L)	quinzenal	quinzenal
Coliformes totais (NMP/100mL)	quinzenal	quinzenal
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	quinzenal	quinzenal
Absorbância a 254 nm	quinzenal	quinzenal
pH	quinzenal	quinzenal
O.D. (mg/L)	quinzenal	quinzenal
Contagem de fitop. (células/mL)	quinzenal	quinzenal
Temperatura (°C)	quinzenal	quinzenal

O estudo da filtração em margem de lago tem como propósito o enquadramento da água do lago de acordo com os limites definidos na Resolução do CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), em água doce, classe III, artigo 6, para uso de dessedentação animal. Após a filtração em margem, espera-se que a água do lago esteja dentro dos limites da Resolução para ser utilizada para o fim desejado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para se alcançar os objetivos deste trabalho de pesquisa foram necessários inicialmente realizar testes hidrogeológicos preliminares imprescindíveis para a implantação da filtração em margem, tais como: sondagem de solo, que forneceu uma amostra do tipo de solo existente no local bem como sua composição granulométrica; e análise de permeabilidade hidráulica, que forneceu a capacidade de penetração de água no solo. A perfuração do poço de produção foi realizada com base nos resultados obtidos nos testes acima mencionados. O teste de bombeamento, avaliação do tempo de residência e avaliação do grau de diluição da água filtrada em margem foram realizados para avaliar o potencial de produção do poço de produção bem como sua capacidade de remoção de contaminantes e influência recebida do aquífero. Os parâmetros de monitoramento da qualidade da água filtrada em margem, foram realizados com o intuito de avaliar sua qualidade para dessedentação animal tendo por base a Resolução CONAMA 357/2005.

5.1 SONDAGEM DE SOLO

O método adotado para a sondagem do solo foi o SPT. Amostras ao longo do perfil do solo foram coletadas e devidamente identificadas em sacos plásticos para que se pudesse fazer o teste de composição granulométrica e condutividade hidráulica. Os pontos de sondagem podem ser observados na Figura 9 do item 4.2.5 e enumerados de 1 a 5. Este teste foi importante para identificar a composição das diversas camadas de solo dos pontos sondados e o nível do lençol freático. Tentou-se neste ensaio, escolher amostras com maior porosidade, seguindo as recomendações da CETESB (2009) e FEITOSA E MANUEL FILHO, (2000) *apud* CETESB, (2009), conforme item 3.2.6. O perfil do solo e a granulometria de suas camadas podem ser observadas nas Figura 30 e Figura 31.

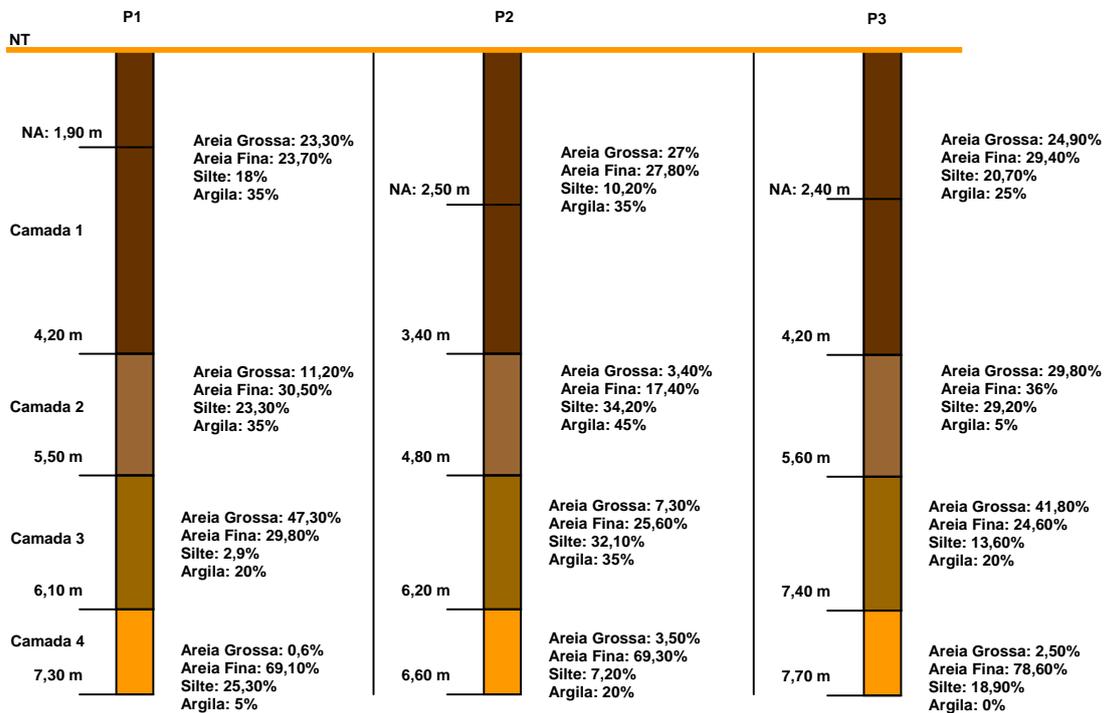


Figura 30 - Perfil do solo dos pontos 1, 2 e 3.

O resultado da sondagem nos pontos P1, P2 e P3 apresentaram porcentagens interessantes de areia grossa e fina. Tais locais poderiam ser interessantes para a implantação do poço de filtração em margem principalmente no que se refere a 2^a, 3^a e 4^a camadas de solo. O grau de argila e silte se apresentaram relativamente baixo contribuindo assim para o possível sucesso do sistema. Contudo, estes pontos de sondagem localizam-se em uma área que foi aterrada e altamente compactada para que se pudesse formar o lago que no passado era um pequeno rio, além da constante passagem de caminhões e máquinas que possivelmente contribuiriam para a compactação do local. Então, decidiu-se optar por cautela e aguardar o resultado do teste de condutividade hidráulica das camadas mais interessantes, granulometricamente falando. Foi selecionada a terceira camada do P1, por apresentar alto grau de areia grossa e camada espessa (cerca de 0,40 metros), bem como coeficiente de porosidade de 35% a 40%, segundo a Figura 6 do item 4.2.6 para o teste de permeabilidade hidráulica. O P2 se mostrou muito semelhante ao P1, desta forma não foi selecionada nenhuma amostra para teste de permeabilidade hidráulica saturada. Foi selecionada também a terceira camada do P3 por apresentar um bom grau de areia grossa e fina e camada espessa (1,80 metros) e coeficiente de porosidade em torno de 35% a

40%, para o teste de condutividade hidráulica.

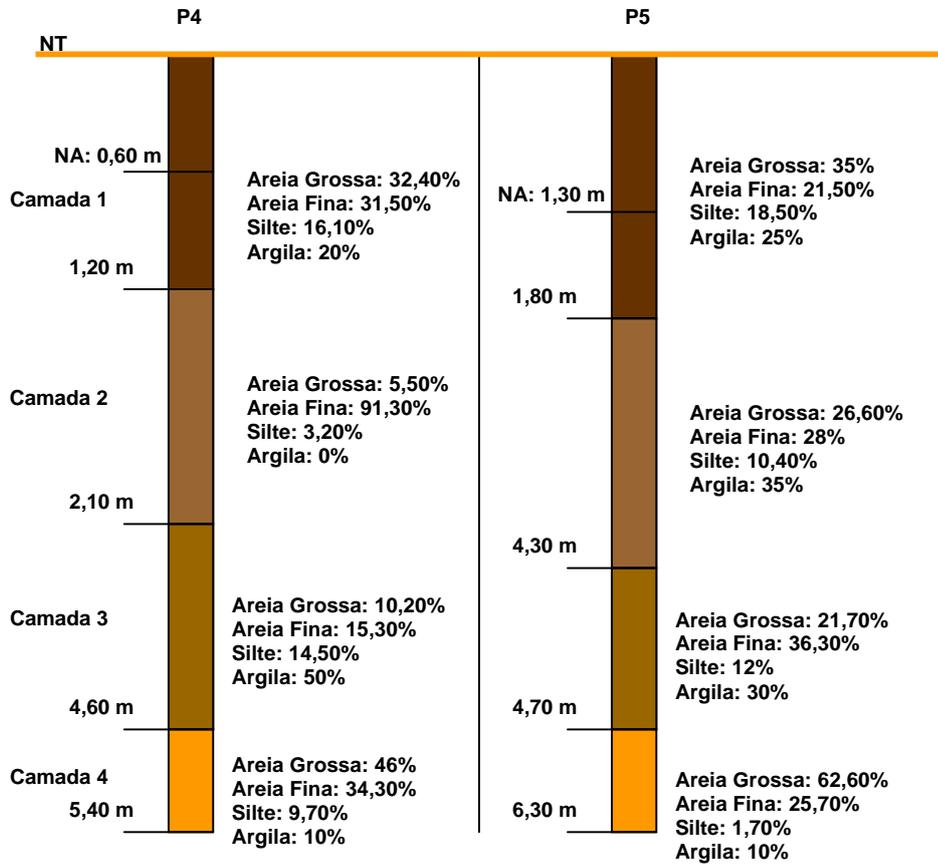


Figura 31 - Perfil do solo dos pontos 4 e 5.

O ponto 4, localizado em um pequeno apêndice que avança para o interior do lago, apresentou resultados interessantes no grau de areia fina (91,30%) na segunda camada de solo, baixo teor de silte e argila na mesma e coeficiente de porosidade em um intervalo de 30% a 35%. Este ponto, foi considerado o melhor do ponto de vista da filtração em margem, pois, teoricamente, recebe contribuição do lago de quase todos os lados. Além do alto grau de areia fina na segunda camada, a última (quarta camada) também se mostrou interessante, pois apresentou alto grau de areia grossa e fina, o que indica que caso haja algum problema no poço em relação a produtividade, este poderia ser aprofundado em outro momento com o intuito de aumentar a carga hidráulica. No entanto, apenas o teste granulométrico não dá o resultado necessário, portanto, foi realizado também o teste de condutividade hidráulica para se ter certeza da correta localização do poço.

O ponto 5, localizado na margem direita, conforme Figura 9 do item 4.2.1, mostrou-se muito interessante com um alto grau de areia grossa na última camada de solo e porosidade em torno de 35% – 40%. Porém este ponto se localiza-se ao pé de uma pequena montanha que poderia interferir na produção do poço, pois este receberia grande influência do escoamento sub-superficial que possivelmente o atingiria, não ocorrendo assim o fenômeno da filtração em margem.

Portanto, para o teste de condutividade hidráulica foi selecionada a segunda e a quarta camada do ponto 4, por apresentarem interessantes níveis de areia grossa e fina, e o ponto 5 selecionamos a quarta camada por apresentar alto grau de areia grossa.

5.2 ENSAIO DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

Como comentado anteriormente, o teste de condutividade hidráulica mostra a facilidade ou dificuldade com que a água se movimenta no solo. Solo com coeficiente de condutividade hidráulica muito baixo, significa que este apresenta grande resistência à passagem de água de acordo com a Tabela 3 do item 4.2.6. Para a realização dos ensaios de permeabilidade hidráulica, foi utilizado um permeâmetro de nível e as Equações 1 e 2, bem como um cronômetro para medir o tempo com que a água passava pela amostra.

Primeiramente, foram realizados ensaios com as amostras recolhidas na sondagem de solo. Foram analisadas as granulometrias e levada em consideração a localização do furo de sondagem. Foram realizados os testes de permeabilidade somente com as amostras julgadas mais interessantes do ponto de vista granulométrico e da porosidade. Os resultados da análise de condutividade hidráulica podem ser observados na Tabela 5 e comparados com a Tabela 3 de referência no item 3.2.6. O número de ensaios variou pela experiência obtida nas análises observando o tipo de amostra.

Tabela 5– Ensaio de condutividade hidráulica das amostras da sondagem.

Amostras	Camada	Tipo	Nº de Ensaios	Valor de (K) médio (cm/s)
Ponto 1	3	Nível Variável	3	$6,9 \times 10^{-4}$
Ponto 3	3	Nível Variável	1	$3,5 \times 10^{-5}$
Ponto 4	2	Nível Constante	3	$5,4 \times 10^{-2}$
Ponto 4	4	Nível Variável	8	$8,8 \times 10^{-4}$
Ponto 5	4	Nível Variável	4	$7,4 \times 10^{-4}$

Como pode ser observado na Tabela 5, o valor de $5,4 \times 10^{-2}$ cm/s apresentado no ensaio da segunda camada do furo 4 foi o que mais se mostrou satisfatório. Este resultado confere com Yassuda e Nogami (1978), que dizem que aquíferos com condutividade em torno de 10^{-2} a 1 cm/s são considerados aquíferos de boa permeabilidade. Amy *et al.*, (2006), recomendam uma faixa de $3,5 \times 10^{-4}$ a $4,2 \times 10^{-2}$ cm/s. Desta forma, escolheu-se o local situado no furo 4 para a perfuração do poço de produção.

Realizado o teste de permeabilidade hidráulica do solo no entorno do lago e definido o local de implantação do poço de produção, fez-se o teste de condutividade hidráulica de amostras do fundo do lago para avaliar o potencial de infiltração de água do lago no solo e, conseqüentemente, no poço de produção. As amostras foram retiradas conforme o procedimento mencionado no item 4.2.1b e avaliadas em permeâmetro de nível. O número de ensaios variou pela experiência obtida nas análises observando o tipo de amostra. O resultado do teste pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 - Ensaio de condutividade hidráulica das amostras do fundo do lago.

Amostra	Tipo	Nº de Ensaios	Valor de (K) médio (cm/s)
Ponto 1	Nível Variável	2	$1,04 \times 10^{-6}$
Ponto 2	Nível Variável	1	$2,61 \times 10^{-7}$
Ponto 3	Nível Variável	1	$2,75 \times 10^{-7}$
Ponto 4	Nível Variável	3	$1,75 \times 10^{-6}$
Ponto 5	Nível Variável	2	$2,18 \times 10^{-7}$
Ponto 6	Nível Variável	1	$1,7 \times 10^{-7}$
Ponto 7	Nível Variável	3	$1,72 \times 10^{-4}$
Ponto 8	Nível Variável	2	$1,46 \times 10^{-6}$
Média Geral:			$2,22 \times 10^{-5}$

Nota-se na Tabela 6, que os valores de condutividade hidráulica das amostras do fundo do lago de estudo são extremamente baixos, com exceção do ponto 7, que é onde se localizam plantas aquáticas que certamente ajudam na passagem de água pelo solo, aumentando assim sua condutividade. Desta maneira, como pode ser observado, o lago possui em suas margens um coeficiente de condutividade hidráulica médio em torno de $2,22 \times 10^{-5}$ cm/s, o que segundo Yassuda e Nogami (1978) representa um aquífero muito pobre do ponto de vista de produção e está fora da faixa recomendada por Amy *et al.*, (2006). Tal resultado também demonstra o alto grau de colmatação no fundo do lago, devido basicamente a sólidos sedimentados que formam a camada semipermeável. Nascimento (2002) reporta que solos com granulometria pequena, como é o caso da argila encontrada no fundo do lago, dificultam a passagem de água no solo, conseqüentemente podendo prejudicar a produção de água do poço.

5.3 ESCAVAÇÃO DO POÇO DE PRODUÇÃO

O poço de produção de água da filtração em margem (tipo amazonas) foi escavado manualmente primeiramente no mês de julho de 2008. Com base nos dados obtidos nas análises de sondagem, granulometria e porosidade foi possível definir o local de perfuração do poço, que foi o ponto número quatro. Para o dimensionamento do poço utilizou-se a equação de Darcy (Equação 3) com dados de entrada: gradiente hidráulico (0,15 m/m), vazão requerida (2000 L/d), permeabilidade hidráulica média entre o fundo do lago e a camada mais permeável (3×10^{-9} m/d).

Tendo em vista os baixos valores do coeficiente de permeabilidade principalmente do fundo do lago decidiu-se escavar o poço com anel de concreto de diâmetro comercial de 1,00 metro e profundidade de 2,00 metros, ou seja, até a segunda camada do ponto 4 de sondagem, local este que mostrou os melhores valores no testes acima realizados. Devido a baixa vazão explotada nesta camada e havendo a possibilidade de rebaixamento do poço, decidiu-se aprofundá-lo para

aproximadamente 2,80 metros (altura esta considerando todos os anéis do poço e não apenas os que estão enterrados) na primeira quinzena do mês de janeiro de 2009.

5.4 TESTE DE BOMBEAMENTO

O teste de bombeamento foi realizado primeiramente em outubro de 2008, onde foi verificada a baixa vazão do poço, então, decidiu-se aprofundar o poço em meados do mês de janeiro de 2009. No dia 13 de fevereiro de 2009 foi realizado um novo teste de bombeamento, onde se obteve uma maior vazão de exploração. O teste foi realizado com ajuda de uma sonda eletrônica de nível que monitorou em tempo integral o nível de água no rebaixamento e na recuperação do poço de produção. Os dados obtidos pela sonda foram transferidos para uma planilha eletrônica onde foi montado o gráfico Tempo x Nível de Água no poço e assim utilizado o Método de Pochet para aferir a vazão de produção máxima (Equação 4). A Figura 32 mostra o gráfico com os dados obtidos da sonda eletrônica.

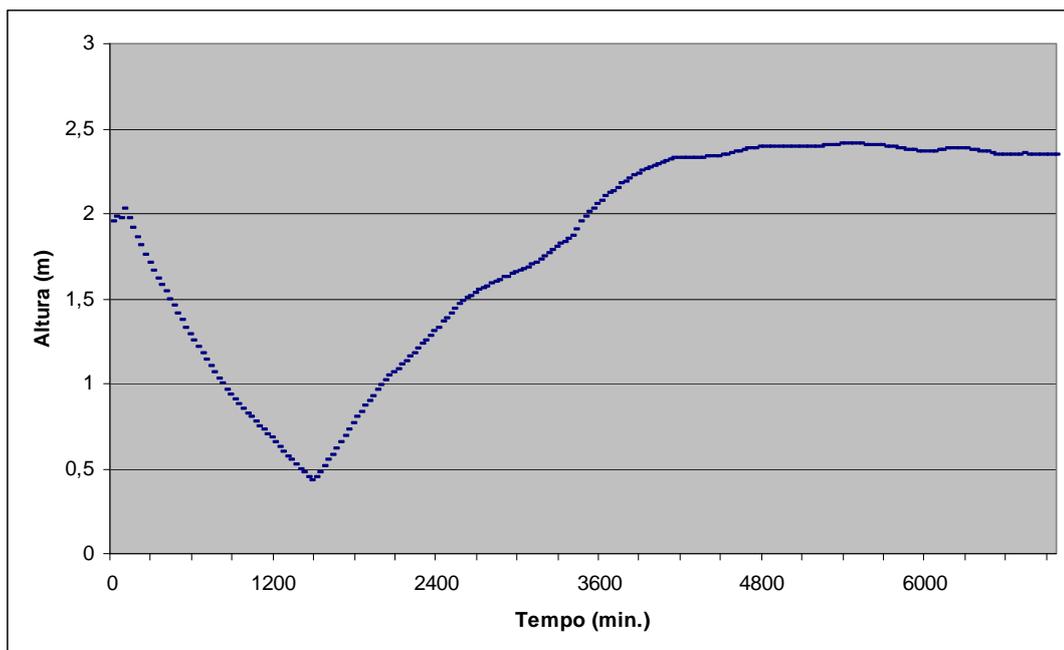


Figura 32 - Gráfico obtido para o teste de bombeamento.

O tempo de máximo rebaixamento do poço foi de aproximadamente 25 horas a uma vazão de bombeamento de 0,06 L/s até o nível dinâmico determinado de 1,5 metros a partir do nível estático. O tempo de recuperação total do poço foi de aproximadamente 33 horas, até que alcançasse seu nível hidráulico estático inicial. O resultado do Processo de Pochet para determinar a vazão do poço no seu nível máximo dinâmico determinado foi de 2560 L/d, em um período de pluviosidade de 89,7 mm nos últimos 30 dias e 15,7 mm nos últimos 7 dias precedentes ao teste, com temperaturas em torno de 25 graus Celsius no dia da medição. Segundo a EPAGRI (2005), tal produção é capaz de atender em torno de 3200 frangos, ou 356 suínos em fase de terminação, ou 64 porcas em maternidade ou ainda 42 bovinos de corte. A EMBRAPA (2003) diz que com tal produção de água, pode-se atender cerca de 9000 frangos com oito semanas de vida ou cerca de 18000 frangos com quatro semanas de vida. Sabe-se porém que, tal produção poderá variar dependendo do período de chuvas e, conseqüentemente, do nível de água no manancial (SCHUBERT, 2001; GOLLNITZ *et al.*, 2002).

5.5 AVALIAÇÃO DO TEMPO DE RESIDÊNCIA

A avaliação do tempo de residência pelo método da temperatura foi realizada no dia 19 de janeiro de 2009, após o rebaixamento do poço de produção a 2,80 metros de profundidade. Através de poços de monitoramento instalados entre o lago de estudo e o poço de produção, foi possível verificar através da temperatura, o tempo com que a água levava para infiltrar nas margens do lago e alcançar o poço de produção. A Figura 33 mostra o resultado do teste.

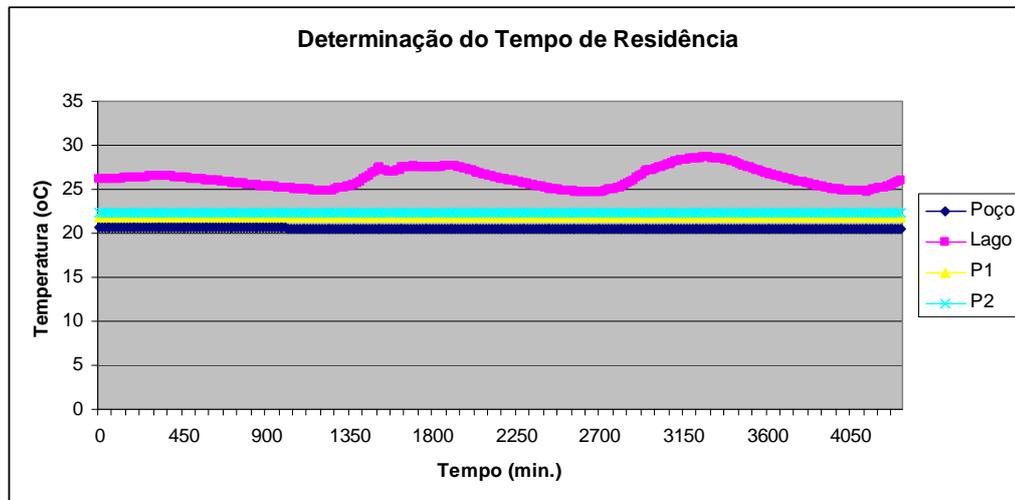


Figura 33 – Gráfico obtido para a determinação do tempo de residência.

Devido a dificuldade de penetração de água do lago no poço por causa do baixo coeficiente de permeabilidade em virtude da colmatção no fundo do lago, não foi possível avaliar o tempo de residência por este método, pois a temperatura da água do lago não alterou a temperatura da água do aquífero durante sua passagem. A Figura 34 mostra de forma clara que não houve a variação mencionada acima, como pode ser observado nas linhas em cor rosa (referente a temperatura do lago) e a linha em cor azul (referente a temperatura do poço). Este teste revelou também que para solos de baixa permeabilidade, a temperatura pode não servir de parâmetro para avaliar o tempo de residência, pois o solo tende a absorver calor da água infiltrada, dificultando a realização do teste.

O tempo de residência hidráulico teórico foi avaliado pela equação de Darcy (Equação 5). Obteve-se por este método um tempo de detenção de aproximadamente 70 dias, utilizando o coeficiente de permeabilidade médio do fundo do lago ($2,22 \times 10^{-5}$ cm/s), com rebaixamento máximo estabelecido de 1,5 metros e distância de 10 metros do poço em relação ao lago. Dash *et al.*, (2008), considera um tempo de residência de 60 dias suficiente para inativar bactérias patogênicas a um grau que não forneça risco a saúde humana. Porém, o tipo de solo também pode influenciar na qualidade da água filtrada em margem (RAY *et al.*, 2002; SOARES *et al.*, 2005; SENS *et al.*, 2006;). Este tempo de detenção ficou ainda dentro do recomendado em sistemas de tratamento de água na Alemanha que hoje é de 50 dias (DASH *et al.*, 2008). Por outro lado, Schubert, (2000) *apud* Grischek *et al.*, (2002), diz que tal tempo não é totalmente suficiente na

remoção de vírus e patógenos e que tal remoção ainda não é suficientemente entendida e estudada quando há mudanças da velocidade de escoamento da água e da pressão no aquífero.

5.6 AVALIAÇÃO DO GRAU DE DILUIÇÃO DA ÁGUA FILTRADA EM MARGEM

A avaliação do grau de diluição da água filtrada em margem se faz necessário para saber a quantidade de água provinda do aquífero e a quantidade de água filtrada em margem no poço de produção decorrente do lago. Para realizar este teste foi utilizado como elemento traçante o cloreto por ser um elemento conservativo, porém é importante salientar que o elemento traçante ideal seria por medição de isótopos de O^{16} ou O^{18} , por exemplo, por serem mais conservativos que os usados e, portanto, certamente apresentariam resultados ainda mais precisos (MASSMANN, 2007). Tal procedimento não foi utilizado por apresentar um alto custo e pela Universidade Federal de Santa Catarina não possuir o equipamento para a realização do teste.

Utilizando o balanço de massa (Equação 6) proposto por Bourg e Bertin (1993) Shamrukh e Abdel-Wahab (2008), nota-se na Tabela 7, que em 100 dias de funcionamento o poço produziu em média 25% de água filtrada em margem, sendo que o restante provem do aquífero. Esta proporção também foi verificada por Dash *et al.* (2008) em um sistema de filtração em margem no Lago Nainital, Índia.

Tabela 7 - Avaliação do grau de diluição da água filtrada em margem.

Tempo de Operação (dias)	Poço		Aquifero		Lago		Água Filt. em Margem (%)	Pluviosid. média últimos 7 dias (mm)	Pluviosid. média últimos 30 dias (mm)
	Conc. Cloreto (mg/L)	Temp. (°C)	Conc. Cloreto (mg/L)	Temp. (°C)	Conc. Cloreto (mg/L)	Temp. (°C)			
7	54,98	*	59,98	*	5,24	*	10	6,7	5,58
66	129,95	*	94,97	*	8,99	*	40	15,9	7,48
100	147,45	25	119,96	21	16,79	23	26	0	1,16
Média:							25		

Foram coletadas amostras nos meses de janeiro (7 dias de operação), março (66 dias de operação) e abril (100 dias de operação), não havendo coleta no mês de fevereiro. No mês de janeiro foi verificada uma pluviosidade média dos últimos 7 dias precedentes a coleta de 6,7mm e dos últimos 30 dias de 5,58mm. No mês de março verificou-se uma média de 15,9mm nos últimos 7 dias e 7,48mm nos últimos 30 dias. Já no mês de abril não anotou-se índices de pluviosidade nos últimos 7 dias, porém nos últimos 30 dias obteve-se uma média de 1,16mm, caracterizando um período de muita seca na região. O período da última coleta também se caracterizou pelas elevadas temperaturas durante o dia, estimada em torno de 25 °C. Não foram obtidos dados de temperatura nos dias de coleta nos meses de janeiro e março, conforme asteriscos na Tabela 7.

Wang (2002), diz que a pluviosidade é um dos fatores que afetam a diluição da água filtrada em margem, porém foi difícil perceber tal influência em apenas 100 dias de operação. Grischek *et al.* (2002) apresentam o fator da condutividade hidráulica do fundo do manancial como regulador da capacidade de produção e, conseqüentemente, do grau de diluição da água filtrada em margem. Desta forma, evidencia-se que a colmatação do manancial é um importante fator que afeta a contribuição da filtração em margem em relação ao aquífero.

5.7 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA FILTRADA EM MARGEM

A avaliação da qualidade da água filtrada em margem iniciou no 50º dia de operação do poço (05/03/2009), tempo este estimado para que o solo do entorno do poço pudesse se estabilizar, e então começar a ter água de qualidade, e foram realizadas até o 89º dia de operação (13/04/2009).

Os parâmetros comparativos de cor aparente, cor verdadeira e turbidez do poço e do lago foram analisados no 61º, 68º, 71º, 75º e 78º dias de operação e podem ser observados na Tabela 8, onde “Bruta” se refere a água do lago, e “FM” se refere a água filtrada em margem através do poço de produção.

Tabela 8 – Monitoramento da cor e turbidez no sistema de FM.

Tempo de Operação (dias)	Fonte	Turbidez (NTU)	Cor Ap. (uH)	Cor Verd. (uH)
61	Bruta	16,3	150	50
	FM	96	420	30
68	Bruta	19,89	145	20
	FM	62	165	5
71	Bruta	23,8	155	25
	FM	100	700	20
75	Bruta	10	65	25
	FM	105	390	55
78	Bruta	13	210	45
	FM	92	390	120

Como pode ser observado, mesmo após mais de dois meses de operação contínua, o poço não produz água com cor e turbidez abaixo da água bruta como se esperava, nos dias analisados. Percebe-se que o solo influencia a qualidade da água nos parâmetros apresentados devido a sua acomodação natural, sendo esta afetada durante o processo de escavação do poço de produção e, principalmente, pelas suas características naturais, que foi definida como Gleissolo Háptico Ta Distróficos neofluvisólico, conforme Apêndice A. A melhora da qualidade da água filtrada em margem no tocante a cor e turbidez é citada na literatura por diversos autores (SCHUBERT, 2001; RAY *et al.*, 2002; SHAMRUKH e ABDEL-WAHAB 2008; DASH *et al.*, 2008). Dash *et al.*, (2008), verificaram uma remoção em torno de 95% da turbidez em um sistema as margens do Lago Nainital (Índia). Percentual de remoção semelhante foi alcançado por Shamrukh e Abdel-Wahab (2008) em um experimento em escala real às margens do Rio Nilo. Porém neste estudo não foi alcançado tal resultado.

A Figura 34 mostra de forma mais clara a elevada turbidez nos dias de coleta. Segundo von Sperling (2005), partículas naturais como as argilas podem conferir turbidez a água. Como foi constatada na análise de sondagem, a primeira camada deste ponto é constituído por cerca de 20% de argila, o que pode fornecer à água a turbidez verificada.

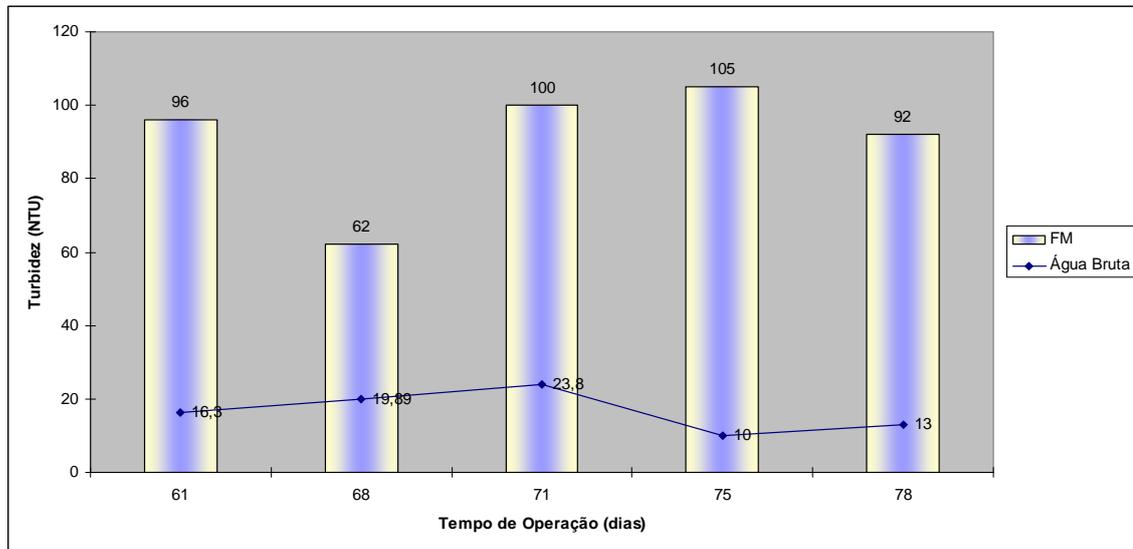


Figura 34 – Monitoramento da turbidez da água filtrada em margem.

Outro parâmetro que pode ter sido influenciado pelas características do solo no entorno do poço é a cor aparente e a verdadeira (Figura 35 e Figura 36). Os elevados índices de cor, podem ser ocasionados também pela elevada concentração de ferro no solo da região, que pode ser verificado na Tabela 10, e que será comentado posteriormente. A cor verdadeira analisada apresentou-se mais próxima da água bruta, porém ainda apresentando picos múltiplos. Isto mostra também que grande parte da cor está em forma de sólidos em suspensão provindo da turbidez e não majoritariamente de sólidos dissolvidos.

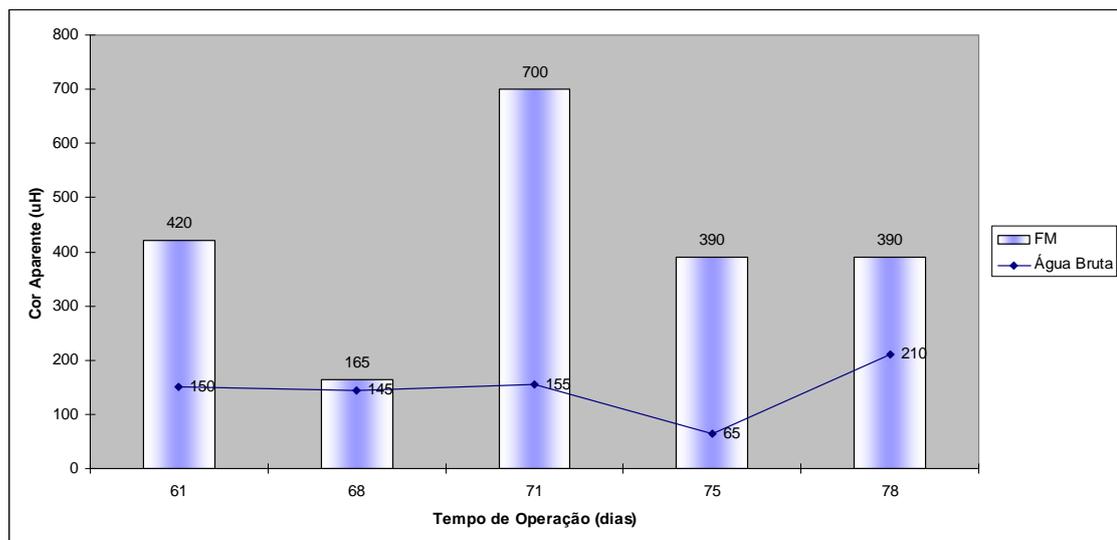


Figura 35 – Monitoramento da cor aparente da água filtrada em margem.

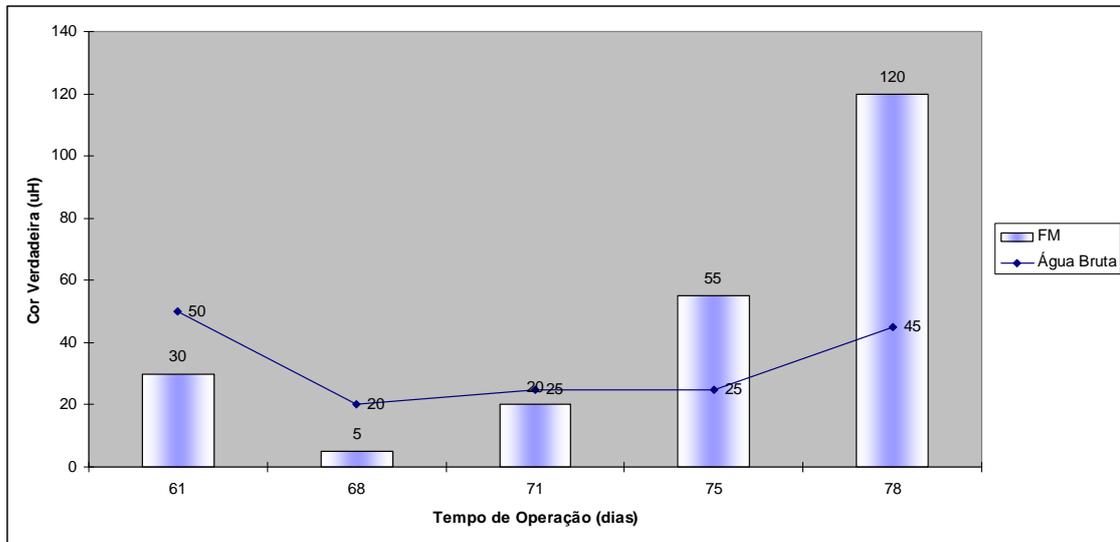


Figura 36 – Monitoramento da cor verdadeira da água filtrada em margem.

Com o intuito de avaliar a evolução da qualidade da água filtrada em margem, foram analisados também, após 50 dias de operação contínua, os parâmetros de cor e turbidez. Esta análise se sucedeu até o 89º dia de operação como pode ser observado na Tabela 9 a seguir.

Tabela 9 – Monitoramento da cor e turbidez no sistema de FM.

Tempo de Operação (dias)	Turbidez (NTU)	Cor Aparente (uH)	Cor Verdadeira (uH)
50	175	750	50
54	130	1350	55
61	96	420	30
65	6	430	25
68	62	165	5
71	100	700	20
75	105	390	55
78	92	390	120
82	68	295	45
89	38	230	20

Como pode ser visto de forma mais clara na Figura 37, há uma forte convergência para o melhoramento da qualidade da água filtrada em margem, no que se refere a turbidez, segunda a linha de tendência, principalmente em períodos de seca, como foi os últimos dias analisados. Os valores de 175 uT e 130 uT do início do monitoramento, tendem a diminuir consideravelmente a medida que o poço opera como pode ser observado no gráfico.

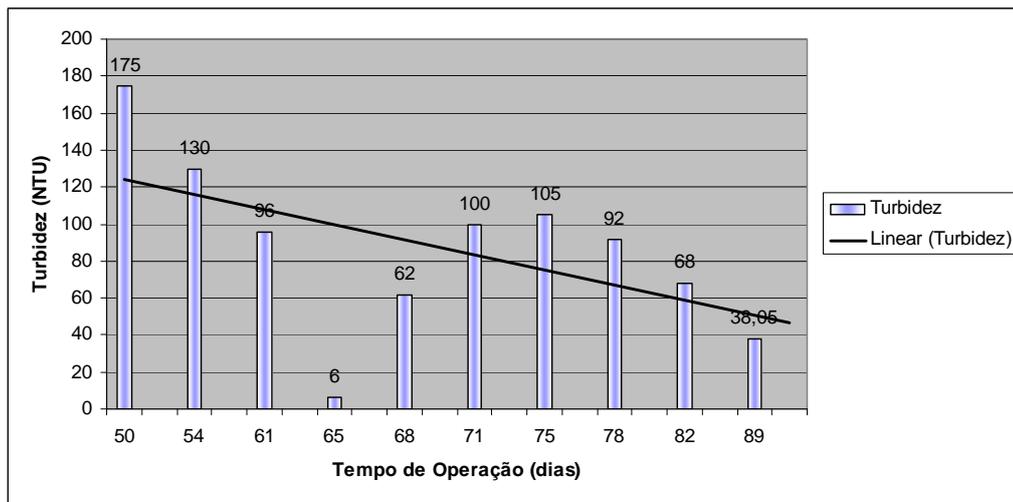


Figura 37 – Gráfico da evolução da turbidez no poço de produção.

Os parâmetros cor aparente (Figura 38) e cor verdadeira (Figura 39), apresentaram comportamentos alternados. A cor aparente seguiu rigorosamente o decaimento da turbidez, levando a considerar que grande parte da cor está relacionada a ela. Por outro lado, a cor verdadeira tendeu a se tornar estável com uma leve tendência de aumento devido principalmente a análise do 78º dia de operação, do qual apresentou grande pico de 120 uH.

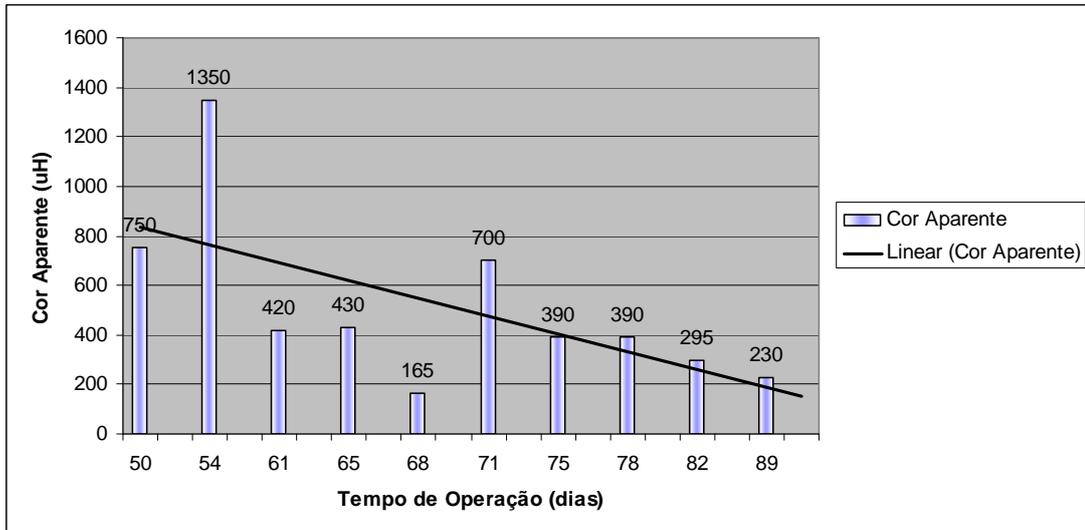


Figura 38 – Gráfico da evolução da cor aparente no poço de produção.

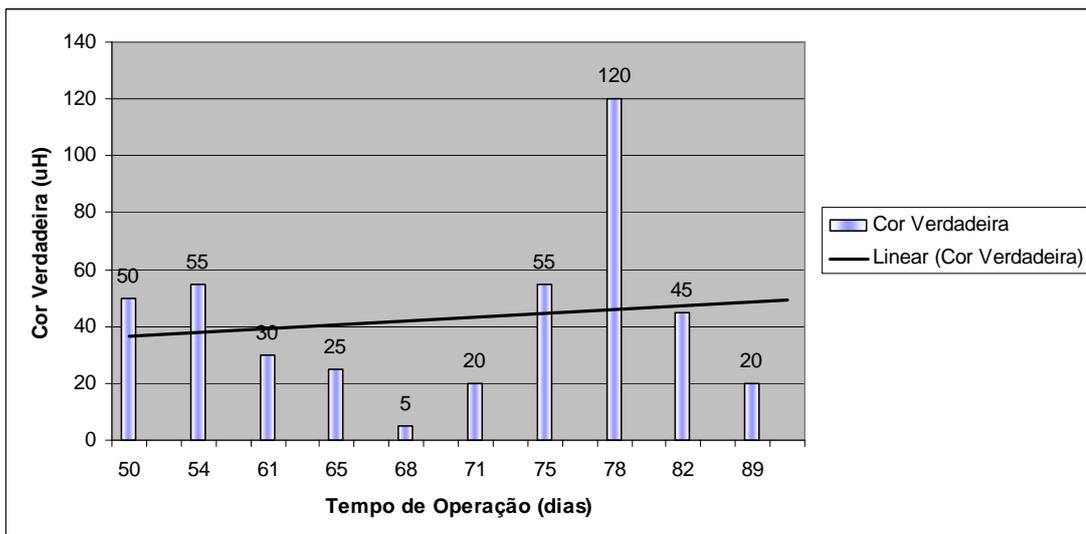


Figura 39 – Gráfico da evolução da cor verdadeira no poço de produção.

Destaca-se ainda que o período de coleta teve uma pluviosidade média de 3,22 mm, considerada normal para a época, e a semana que antecedeu o início das coletas teve pluviosidade média de 1,42 mm (Anexo D). Tal parâmetro pode contribuir para a elevação da cor e da turbidez não só na água bruta, mas também na água filtrada em margem, como verificado por Dash *et al.*, (2008) que obtiveram um aumento de até 25% da turbidez em períodos chuvosos, porém tal impacto foi

consideravelmente maior na água bruta, chegando a 45% de incremento. Ray *et al.*, (2002), destacam que a filtração em margem tem a capacidade de amenizar cargas, e portanto, absorver melhor tais variações se comparada a outros sistemas.

A avaliação da qualidade da água filtrada em margem iniciou no 50º dia de operação do poço, 05/03/2009, tempo este estimado para que o solo do entorno do poço pudesse se estabilizar e então começar a ter água de qualidade, e foram realizadas até o 89º dia de operação, 13/04/2009 (Tabela 10).

Tabela 10 – Monitoramento da cor e turbidez do poço de produção.

Parâmetro Analisado	Água Bruta	Água Tratada	Resol. 357/2005
Cor Aparente (uH)	136,6(32,2)*	512(347)**	-
Cor Verdadeira (uH)	55,3(14,4)*	42,5(32)**	75
Condutividade (µS/cm)	21,2(1,7)***	101(54)****	-
Ferro Total (mg/L)	0,42(0,3)***	2,8(1,1)****	1,4
Manganês (mg/L)	0,094(0,03)***	0,4(0,2)*****	0,5
Turbidez (NTU)	16,4(9,9)*	87,2(47)**	100
STD (mg/L)	10,9(0,85)***	0,05(0,03)****	-
SS (mg/L)	98(25)****	86(3)****	-
Alcalinidade (CaCO ₃ mg/L)	19,6(3,2)***	68,4(60,1)****	-
Nitrito (mg/L)	0,0065(0,001)***	0,036(0,027)****	1,0
Nitrato (mg/L)	0,13(0,16)***	0,22(0,17)****	10
Colif. Totais (NMP/100ml)	12137(10950)***	173(110)*****	-
E. Coli (NMP/100ml)	163(164)***	0(0)*****	1000
Absorbância (254nm)	0,117(0,016)***	0,13(0,03)****	-
pH	7,5(0,3)***	6,03(0,45)****	6,0 – 9,0
OD (mg/L)	9,0(0,2)***	2,8(1,8)****	4,0
Fitop. (cel/ml)	8380***	0****	50.000(cianobact.)
Temperatura(°C)	27,5(2,3)***	25,5(2,1)****	-

*Valores médios referente a 17 dias de monitoramento de janeiro a abril de 2009.

**Valores médios dos 39 dias de operação, não consecutivos.

***Valores médios de coletas realizadas em janeiro, fevereiro e março de 2009.

****Valores médios de coletas realizadas em fevereiro, março e abril de 2009.

*****Valores médios de coletas realizadas em março e abril de 2009.

Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão.

As variações nas concentrações de ferro, manganês, nitrito e nitrato na água filtrada em margem, se devem ao resultado da troca das condições redox durante a passagem da água do manancial no solo (HISCOCK e GRISCHEK, 2002). Stuyzand *et al.*, (2006) reportam que o aumento das concentrações de ferro e manganês podem se dar pela colmatção do fundo do manancial, o que foi constatado tanto pelos resultados de permeabilidade hidráulica saturada do fundo do lago, quanto pelo aumento das concentrações de ferro e manganês verificado nas análises de qualidade da água na Tabela 10 .

Kuehn e Mueller (2000), relatam que baixas concentrações de oxigênio dissolvido fazem com que o ferro e o manganês se tornem solúveis, o que ocasiona o processo de liberação destas espécies na água, que uma vez em contato com oxigênio se precipitam. Como pode ser verificado na Tabela 10, o baixo grau de oxigênio dissolvido na água filtrada em margem pode ter contribuído para a formação desses parâmetros. A concentração de oxigênio dissolvido durante a filtração em margem cai drasticamente principalmente se o tempo de residência for elevado e o manancial estiver colmatado, como foi verificado por Stuyzand *et al.*, (2006), e, portanto, a concentração de nitrato deveria diminuir, pois sabe-se que na ausência de oxigênio ele está presente em outra forma e então dissolvido na água. Bourg e Bertin (1993) constataram que próximo às margens do manancial de superfície existe uma zona de redução, onde há a diminuição do oxigênio dissolvido e nitrato e aumento do manganês. Neste caso, a elevação do nitrato se deve, provavelmente, ao fato de a coleta das amostras serem após a passagem pela bomba centrífuga, o que pôde ter adicionado oxigênio na água filtrada em margem e aumentado a concentração de nitrato na amostra.

As análises de sólidos totais dissolvidos apresentaram um grande percentual de remoção (99%) e consequentemente, a condutividade elétrica, porém os sólidos suspensos ainda se apresentaram elevados provavelmente devido a acomodação do solo no entorno do poço de produção. A presença de ácidos húmicos medida através da absorbância 254nm mostrou-se baixa caracterizando uma água de baixa concentração de matéria orgânica dissolvida. Tal diminuição foi reportada também por Kuehn e Mueller, (2000); Wang, (2002); Hiscock e Grischek (2002); Amy *et al.*, (2006) e Sens *et al.*, (2006).

Quanto a remoção de coliformes totais e termotolerantes, tais parâmetros seguiram a literatura e apresentaram baixos teores, porém, deve se considerar que não houve a desinfecção do poço de produção após o seu rebaixamento, portanto, os valores de coliformes totais não deverão ser considerados. Shamrukh e Abdel-Wahab, (2008) apresentaram remoção de 99% de coliformes totais e 100% de termotolerantes. Dash *et al.*, (2008) conseguiram remoção de 96% em coliformes totais e aproximadamente o mesmo percentual na remoção de termotolerantes, em estudo na Índia. Quanto a remoção de fitoplanctons, esta se mostrou satisfatória apesar da baixa presença na água bruta. Os parâmetros cor e turbidez já foram comentados anteriormente e, portanto, não serão aqui interpretados.

Por fim, apesar da elevada concentração de alguns parâmetros conforme Tabela 10, se colocando ainda acima dos da água bruta, a maioria permaneceu abaixo dos índices recomendados pela Resolução CONAMA 357/2005, no que diz respeito a dessedentação animal, com exceção do ferro e do oxigênio dissolvido.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante do estudo aqui exposto, podemos verificar que a análise geológica do solo no local de estudo se mostra muito importante para o sucesso do sistema de filtração em margem, pois através dele foi possível saber as composições dos diferentes materiais nos diversos pontos de amostragem e com o auxílio do teste de permeabilidade hidráulica saturada, definir assim o local mais apropriado para a instalação do poço de produção.

A avaliação da condutividade hidráulica saturada das amostras do entorno do lago e fundo do mesmo mostrou-se determinante na concepção deste sistema de tratamento em lagos como o estudado. A colmatção do fundo do lago em tanques de piscicultura é quase que evidente devido ao excesso de material sedimentado e, principalmente, pela concepção do mesmo, onde se considera a impermeabilização do fundo para que ocorra a mínima perda de água para o lençol freático. Desta forma, recomenda-se que em estudos futuros tal avaliação seja realizada em conjunto, ou seja, tanto o coeficiente de permeabilidade hidráulica do entorno do lago quanto o do fundo deste devem ser considerados na implantação do poço de produção, pois mesmo que se encontre uma alta permeabilidade em um dos pontos de amostragem do entorno e uma baixa permeabilidade no fundo do manancial, o mais desprezível é quem determinará as condições de infiltração no solo.

A produção aproximadamente 2560 L/dia de água do poço se mostrou satisfatória tendo em vista a proposta do estudo. Para o aumento da produção em períodos de seca, que é o foco deste trabalho, recomenda-se escavar poços tubulares do tipo radial, pois tal poço é capaz de aumentar a vazão de exploração devido ao aumento da área drenável em contato com o aquífero. Sugere-se também que os raios do poço sejam voltados apenas para o lago para que se possa obter o máximo rendimento apenas da água filtrada em margem, diminuindo a diluição pelo aquífero. Porém, é importante que a construção de tal tipo de poço seja normatizada pelo órgão brasileiro competente (ABNT), pois este considera apenas poços tubulares profundos. Outra forma de se tentar o aumento da vazão explorada é a construção de uma bateria de poços de diâmetro menor

paralelo ao lago, o que seria de certa forma de mais fácil execução. O estudo da contribuição das chuvas e da variação da temperatura também se faz necessário, para que se possa avaliar a influência desses fatores na qualidade da água filtrada em margem.

O tempo de residência teórico de aproximadamente 70 dias também se mostrou satisfatório, pois tal tempo é capaz de remover uma série de contaminantes que poderiam estar presente no manancial superficial, e conseqüentemente, haver uma melhoria na qualidade da água tratada. Contudo, considerando que tanques de piscicultura normalmente localizam-se próximo a zonas rurais e, portanto, suscetíveis a contaminação por pesticidas, sugere-se que seja estudado a capacidade de remoção dos utilizados na região de estudo, apesar de a Resolução CONAMA 357/2005 não estabelecer limites para consumo animal, pois esta tecnologia tem um grande potencial para o uso no fornecimento de água para consumo humano.

Embora se espere uma melhora significativa na qualidade da água filtrada em margem nos próximos meses, segundo os gráficos de cor e turbidez apresentados, obteve-se água dentro dos padrões de potabilidade exigidos pela Resolução CONAMA 357/2005, que estabelece padrões para consumo animal, com exceção do elemento ferro e oxigênio dissolvido, que podem ser normalizados com uma simples aeração da água filtrada.

Por fim, ao final deste estudo, percebe-se que a tecnologia estudada tem um grande potencial não só para o suprimento animal, mas também para o abastecimento humano se empregada com outras técnicas como a filtração lenta retrolavável, tecnologia esta pesquisada por Michielin (2002), Emmendoerfer (2006), Sens (2008) e Marnoto (2008), que pode melhorar a qualidade da água.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (Brasil). **Educação:** Poços para captação de água. Disponível em: <http://www.abas.org.br/educacao_pocos.php>. Acesso em: 05 maio 2009.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – Solo – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio. Norma 6484 de fevereiro de 2001.

ALONSO, Thiago de Paula. **Condutividade hidráulica de solos compactados em ensaios com permeâmetro de parede flexível**. 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

AMEOSC - ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO EXTREMO OESTE DE SANTA CATARINA (Org.). **Ministro Gregolim entrega retroescavadeira para São Miguel do Oeste**. Disponível em: <<http://www.ameosc.org.br/conteudo/?item=2839&fa=1&cd=12562>>. Acesso em: 22 abr. 2009.

AMY, G.; CARLSON, K.; COLLINS, M.R.; DREWES, J.; GRUENHEID, S.; JEKEL, M. Integrated comparison of biofiltration in engineered versus natural systems. In: Gimbel, R.; Graham, N.J.D.; Collins, M.R. **Recent Progress in Slow Sand and alternative Biofiltration Processes**. IWA Publishing, London, p. 1-11, 2006

APHA – **American Public Health Association**. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20º ed. Washington: APHA, 1998.

BANKFILTRATION, 2005. **Filtração em margem**. www.bankfiltration.org. Site pesquisado em 30/05/2008.

BOURG, Alain C. M.; BERTIN, Clotilde. Biogeochemical Processes during the Infiltration of River Water into an Alluvial Aquifer. **Environmental Science Technology**, Orleans Cedex - França, n. 27, p.661-666, 1993.

BRASIL (2005). **Resolução CONAMA nº357 de 17 de março de 2005 do Ministério do Meio Ambiente**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, padrão de potabilidade de água para consumo animal e dá outras providências.

CALDAS, M.E.R. MAPA/CEPLAC. **Criação Racional de Peixes: Tipos de Piscicultura**. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/Artigos/artigo14.htm>>. Acesso em: 13 abr. 2009.

CAMPOS, I.M. Fórum da Construção. **Tipos de solo e investigação do subsolo: entenda o ensaio a percussão e seu famoso índice SPT**. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=126>>. Acesso em: 15 dez. 2008.

CANAL RURAL (Org.) 2008. **Seca deixa oeste catarinense em situação de emergência**. Disponível em: <<http://www.canalrural.com.br/canalrural/jsp/default.jsp?uf=1&local=1&action=noticias&id=2351498&ion=noticias>>. Acesso em: 22 abr. 2009.

CENTER POÇOS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E MINERAÇÃO (Brasil). **Tipos de Poços: Poços para captação de água**. Disponível em: <<http://www.sacrahome.com.br/centerpocos/node/9>>. Acesso em: 05 maio 2009.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (São Paulo) (Org.). **Noções e definições em hidrogeologia**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua_sub/hidrogeologia.asp>. Acesso em: 23 abr. 2009.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Programa Ações Emergenciais de Combate aos Efeitos das Secas: Execução de Testes de Bombeamento em Poços Tubulares**. DF(Brasília), 1998. 24 p. Manual Prático de Orientação.

DACACH, Nelson Gandur. Saneamento Básico. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1984.

DASH, R.R. *et al.*, Lake bank filtration at Nainital, India: water-quality evaluation. **Hydrogeology Journal**, Roorkee (India), v. 16, n. 6, p.1089-1099, 27 fev. 2008.

DAVIS, Stanley .N.; WHITTEMORE, Donald.O.; FABRYKA-MARTIN, June. Uses of Chlorine/Bromide Ratios in Studies of Potable Water. **Ground Water**, US (New Mexico), p. 338-350. set. 1997.

DE SÁ, J.U.(1999). Serviço Geológico do Brasil. **Poços coletores com drenos radiais: Projeto Experimental**. Disponível em: <<ftp://ftp.cprm.gov.br/pub/pdf/dehid/pocos-coletores.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2009.

DEC - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL. UFCG. **Capítulo IV: Mananciais de Abastecimento**. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/A42.html>>. Acesso em: 05 maio 2009.

DESER - DEPARTAMENTO DE ESTUDOS SÓCIO-ECONÔMICO DA REGIÃO SUL, 2004 – *A seca em Santa Catarina* 24/03/2004. Disponível em <http://www.deser.org.br/noticias_read.asp?id=775>. Site pesquisado em 20/04/2009, às 11:02h.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasil), 2003. **Produção de frangos de corte: Nutrição e Alimentação**. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/SP/aves/agua.html>>. Acesso em: 29 abr. 2009.

EMMENDOERFER, M.L. – **Filtração lenta com retrolavagem para propriedades rurais de base familiar**. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

EPAGRI - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA, 2005. **Produção Animal**. Disponível em: <http://www.epagri.rct-sc.br/epagri/index.jsp>. Acesso em: 24 de maio de 2006.

EPAGRI - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA, 2006. **Informações EPAGRI – Histórico; Microbacias**. <http://www.epagri.rct-sc.br/epagri/index.jsp>. Site pesquisado em 06/02/2006 às 10:49h.

ESTADÃO (Org.) 2009. **Seca deixa 45 cidades de SC em estado de emergência**. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/geral,seca-deixa-45-cidades-de-sc-em-estado-de-emergencia,355756,0.htm>>. Acesso em: 22 abr. 2009.

FOLHA ONLINE (Org.) 2006. **Seca deixa 253 cidades do Sul em estado de emergência.** Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u124335.shtml>>. Acesso em: 22 abr. 2009.

FAO (Brasil). Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. **Manual sobre manejo de reservatórios para produção de peixes.** Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab486p/AB486P00.HTM>>. Acesso em: 01 set. 2009.

FARIA, R. (Brasil). Revista Techne. **Reportagens: Rebaixamento Seguro.** Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/119/artigo42991-2.asp>>. Acesso em: 05 maio 2009.

GAZETA MERCANTIL (Org.) 2009. **Seca em Santa Catarina prejudica mais a pecuária leiteira.** Disponível em: <<http://indexet.gazetamercantil.com.br/arquivo/2009/04/17/471/Seca-em-SC-prejudica-mais-a-pecuaria-leiteira.html>>. Acesso em: 22 abr. 2009.

GEOENVI (Brasil). **Estudo de Caso: Poços de Controle e Medida do Nível da Água Subterrânea.** Disponível em: <<http://www.geoenvi.com.br/estudodecaso.html>>. Acesso em: 05 maio 2009.

GOLLNITZ, W.D. Infiltration rate variability and research needs. Riverbank filtration: Improving source-water quality, C. Ray, G. Merlin and R.B. Linsky eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2002.

GOOGLE MAPS (Brasil). **Foto Aérea de Ituporanga.** Disponível em: <<http://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 15 dez. 2008.

GRISCHEK, T., SCHOENHEINZ, D., RAY, C. Siting and design issues for riverbank filtration schemes. Riverbank filtration: Improving source-water quality, C. Ray, G. Merlin and R.B. Linsky eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2002.

HIJNEN, Wim A.m. *et al.* Removal and fate of *Cryptosporidium parvum*, *Clostridium perfringens* and small-sized centric diatoms (*Stephanodiscus hantzschii*) in slow sand filters. **Water Research**, Amsterdam, v. 41, n. , p.2151-2162, 24 jan. 2007.

HISCOCK, K. M., GRISCHEK, T. Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. **Journal of Hydrology**, v.266, p.139-144, September, 2002.

HUNT, Henry; SCHUBERT, Jürgen; RAY, Chittaranjan. Conceptual Design of Riverbank Filtration Systems: Well types and suitability of vertical versus horizontal wells. In: RAY, Chittaranjan *et al.* **Riverbank Filtration: Improving Source-Water Quality**. Kluwer Academic Publishers, 2002. Cap. 1, p. 19-27.

IBAMA - Ministério do Meio Ambiente. **Estatísticas da Pesca 2007**: Brasil, grandes regiões e unidades da federação. Brasília(DF), 2007. 151 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. 2 Ed. 316 p. Rio de Janeiro. RJ.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos Demográficos 2007**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 15 dez. 2008.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária Municipal**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2007/ppm2007.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2009.

KUEHN, W.; MUELLER, U. Riverbank filtration. An overview. **J. AWWA**, v. 92, n.12, p.60-69, 2000.

MARANGON, M. Hidráulica dos Solos. **Mecânica dos Solos II: Hidráulica dos Solos**. Minas Gerais (Juiz de Fora): Núcleo de Geotecnia, 2006. p. 1-23. Apostila.

MARNOTO, Maria João Estevão. **Expansão da areia durante a retrolavagem dos filtros lentos – influência sobre a qualidade da água para abastecimento e a duração das carreiras**. 2008. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MASSMANN, Gudrun et al. Investigation of groundwater residence times during bank filtration in Berlin: a multi-tracer approach. **Hydrological Processes**, Alemanha (berlim), n. 22, p.788-801, 18 jun. 2007.

MICHIELIN, Alexandre Kretsehmer - **Filtro Lento com Retrolavagem** - Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC – Florianópolis, SC, 2002.

NASCIMENTO, K. R. F. **Modelagem matemática do uso conjunto das águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do rio das fêmeas-bahia**. Salvador: Srh – superintendência de Recursos Hídricos da Bahia, 2002, 48p. Relatório Final.

O GLOBO (Org.) 2009. **Chega a 45 o número de cidades em emergência por causa da seca em Santa Catarina**. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/pais/cidades/mat/2009/04/16/chega-45-numero-de-cidades-em-emergencia-por-causa-da-seca-em-santa-catarina-755297283.asp>>. Acesso em: 22 abr. 2009.

ONG - FAZENDA NATUREZA. **Galeria de Fotos**. Disponível em: <<http://www.fazendanatureza.com.br/>>. Acesso em: 05 maio 2009.

PEREIRA, O. 1999. **Reduzir impacto ambiental é preocupação da Epagri**. Disponível em: <http://www.an.com.br/1999/out/10/0ecc.htm> . Site pesquisado em 25 de maio de 2006.

RABELO, Letícia. **Estudos preliminares para a implantação da filtração em margem na Lagoa do Peri como pré-tratamento de água para remoção de fitoplâncton**. 2006. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina (Florianópolis), 2006.

RALPH C. Heath (Estados Unidos). U.s. Geological Survey. **Hidrologia Básica de Água Subterrânea**. North Caroline: United States Government Printing Office, 1982. 84 p. (III).

RAY, C.; LINSKY, R. B.; MELIN, G. In: **Riverbank Filtration – improving source-walter quality**, v.43, p.1–15, 2002.

SCHIJVEN, Jack.; BERGER, Philip.; MIETTINEN, Ilkka. Removal of Patogens, Surrogates, Indicators and Toxins using riverbank filtration. In: **Riverbank filtration: Improving source-water quality**, C. Ray, G. Merlin and R.B. Linsky eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2002.

SCHOENHEIZ, D. Temperature effects on organics removal during river bank filtration. In: UNESCO (França). **Recharge systems for protecting and enhancing groundwater resources: Proceedings of the 5th International Symposium on Management of aquifer recharge**. Paris: Unesco, 2005. Cap. 4, p. 525-528. (13)

SCHUBERT, Jürgen. Hydraulics aspects of riverbank filtration. **Journal Of Hydrology**, Dülsseldorf, p. 145-161. 01 ago. 2001.

SCHUBERT, Jürgen. Significance of hydrologic aspects on the RBF performance. **Nato Scienceseries Iv: Earth And Environmental Sciences: Riverbank Filtration Hydrology**, Alemanha(düsseldorf), v. 60, n. , p.1-20, 2006.

SENS, M. L.; MONDARDO, R. I.; MELO FILHO, L. C.; DALSSASSO, R. L. – **Relatório técnico do PROSAB 4**. Finep: Rio de Janeiro, 2006.

SENS, M. L. *et al.*– Filtração lenta com retrolavagem para propriedades rurais - **Relatório técnico da EPAGRI**. Florianópolis, 2008.

SHAMRUKH, Mohamed; ABDEL-WAHAB, Ahmed. Riverbank filtration for sustainable water supply: application to a large-scale facility on the Nile River. **Clean Technologies And Environmental Policy**, Doha (Qatar), v. 10, n. 4, p.351-358, 11 jan. 2008.

SOARES, P. S. MOREIRA; Y.; FREIRE, L.; CARVALHO, D. D. Cetem (centro de Tecnologia Mineral) (Org.). Série Tecnologia Ambiental: Transporte de metais pesados no solo no contexto da disposição de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: Cetem, 2005. 29p. Relatório. Disponível em: <www.cetem.gov.br/publicação/cetem_sta_33.pdf>. Acesso em: 22 março 2006.

STUYFZAND, Pieter J.; JUHÀSZ-HOLTERMAN, Maria H.A.; LANGE, Willem J. de. **Riverbank filtration in the Netherlands: well fields, clogging and geochemical reactions**. Netherlands(Amsterdam): Stephen A. Hubbs (Ed.), 2006. p. 119-153.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 1 v.

WANG, J. Riverbank filtration case study at Louisville, Kentucky. Riverbank filtration: Improving source-water quality, C. Ray, G. Merlin and R.B. Linsky eds.,Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2002.

WORCH, Eckhard.; GRISCHEK, Thomas.; BÖRNICK, Hilmar.; EPPINGER, Petra. Laboratory tests for simulating attenuation processes of aromatic amines in riverbank filtration. **Journal Of Hydrology**, Germany (dresden), 04 jan. 2002. p. 259-268.

YAHOO (Brasil). **Imagens-Ituporanga**. Disponível em: <<http://br.geocities.yahoo.com/>>. Acesso em: 15 jan. 2009.

YASSUDA, Eduardo R.; NOGAMI, Paulo S. Captação de Água Subterrânea. In: São Paulo. CETESB.; Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água. Vol. I – Abastecimento de Água. 2 ed. São Paulo, CETESB, 1978. Cap. 5, p. 135-204.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Formação do solo e disposição no Brasil e em Santa Catarina

Formação e disposição do solo

Após a deterioração da rocha o solo se transforma e se organiza em camadas chamadas de horizontes de aspectos e condições diferentes. Um solo desenvolvido possui quatro horizontes que podem ser subdivididos e identificados pelas letras O, A, B, C e R (Figura A1).



Figura A1 – Representação das subdivisões do solo.

Horizonte O:

- Matéria orgânica vegetal;
- Pequena espessura;
- Presente em locais com muita vegetação.

Horizonte A:

- Solo mineral mais próximo a superfície;
- Composta de matéria orgânica em decomposição;
- Fonte de sólidos carreados pela água para os horizontes subsequentes;
- Muito poroso.

Horizonte B:

- Deposição dos sólidos carreados do perfil superior;

- Máximo desenvolvimento de cor e estrutura.

Horizontes C e D ou R:

- Transição para a rocha;
- Os agentes físicos, químicos e biológicos não afetam estes horizontes;
- Características próximas a sua origem geológica.

Horizonte D ou R:

- Rocha.

Classificação dos solos e suas distribuições no Brasil segundo o SiBCS (IBGE, 2007):

A classificação de solos do sistema brasileiro, até o presente, contempla ainda os níveis de ordem, subordem, grande grupo e ainda em sub-grupos quando se quer a informação mais detalha. O Quadro A1 mostra a classificação ao nível de ordem, subordem, grande grupo e sua respectiva simbologia e o Anexo C explica cada um dos níveis. São eles:

Quadro A1 – Classificação dos solos segundo o SiBCS.

ORDEM: ARGISSOLOS			ORDEM: CHENOSSOLOS		
Subordem	Grande Grupo	Símbolo	Subordem	Grande Grupo	Símbolo
BRUNO	Alítico	PBACal	RÊNDZICO	Lítico	MDI
ACINZENTADO	Distrocoeso	PACdx		Órtico	MDo
ACINZENTADO	Distrófico	PACd	EBÂNICO	Carbonático	MEk
	Eutrófico	PACe		Órtico	MEo
	Alítico	PAal		Férrico	MTf
	Alumínico	PAa	ARGILÚVICO	Carbonático	MTk
AMARELO	Distrocoeso	PAdx		Órtico	MTo
	Distrófico	PAd		Férrico	MXf
	Eutrocoeso	PAex	HÁPLICO	Carbonático	MXk
	Eutrófico	PAe		Órtico	MXo
	Alítico	PVal			
	Alumínico	PVa			
VERMELHO	Ta Distrófico	PVvd			
	Distrófico	PVd	HUMILÚVICO	Hidro-hiperespesso	EKgu
	Eutroférico	PVef		Hidromórfico	EKg
	Eutrófico	PVe		Hiperespesso	EKu
	Alítico	PVAal		Órtico	EKo
	Alumínico	PVAa		Hidro-hiperespesso	ESgu
VERMELHO-AMARELO	Ta Distrófico	PVAvd	FERRILÚVICO	Hidromórfico	ESg
	Distrófico	PVAd		Hiperespesso	ESu
	Eutrófico	PVAe		Órtico	ESo
				Hidro-hiperespesso	ESKgu
			FERRIHUMILÚVICO	Hidromórfico	ESKg
				Hiperespesso	ESKu
				Órtico	ESKo
ORDEM: CAMBISSOLOS			ORDEM: GLEISSOLOS		
Subordem	Grande Grupo	Símbolo	Subordem	Grande Grupo	Símbolo
	Aluminoférrico	CHaf	TIOMÓRFICO	Húmico	GJh
HÚMICO	Alumínico	CHa		Órtico	GJo
	Distoférrico	CHdf	SÁLICO	Sódico	GZn
	Distrófico	CHd		Órtico	GZo
	Carbonático	CYk		Carbonático	GMk
	Sódico	CYn		Alítico	GMal
	Sálico	CYz		Alumínico	GMa
FLÚVICO	Alumínico	CYa	MELÂNICO	Ta Distrófico	GMvd
	Ta Distrófico	CYvd		Ta Eutrófico	GMve
	Ta Eutrófico	CYve		Tb Distrófico	GMbd
	Tb Distrófico	CYbd		Tb Eutrófico	GMbe
	Tb Eutrófico	CYbe		Carbonático	GXk
	Carbonático	CXk		Alítico	Gxal
	Sódico	CXn		Alumínico	GXa
	Perférrico	CXj	HÁPLICO	Ta Distrófico	GXvd
	Alítico	CXal		Ta Eutrófico	GXve
	Alumínico	Cxa		Tb Distrófico	GXbd
HÁPLICO	Ta Distrófico	CXvd		Tb Eutrófico	GXbe
	Ta Eutroférico	CXvef			
	Ta Eutrófico	CXve			
	Tb Distoférrico	CXbdf			
	Tb Distrófico	CXbd			
	Tb Eutroférico	CXbef			
	Tb Eutrófico	CXbe			

Fonte: IBGE, 2007

(continuação)

ORDEM: LATOSSOLOS			ORDEM: NEOSSOLOS			
Subordem	Grande Grupo	Símbolo	Subordem	Grande Grupo	Símbolo	
BRUNO	Acriférrico	LBwf	LITÓLICO	Hístico	RLi	
	Ácrico	LBw		Húmico	RLh	
	Aluminoférrico	LBaf		Carbonático	RLk	
	Alumínico	LBa		Chernossólico	RLm	
	Distroférrico	LBdf		Distro-úmbrico	RLdh	
	Distrófico	LBd		Distrófico	RLd	
	Acriférrico	LAWf		Eutro-úmbrico	RLeh	
AMARELO	Ácrico	LAW		Eutrófico	RLe	
	Alumínico	LAA		Carbonático	RYk	
	Distroférrico	LAdf		Sódico	RYn	
	Distrocoeso	LAdx	Sálico	RYz		
	Distrófico	LAd	Psamítico	RYq		
	Eutrófico	LAe	Ta Eutrófico	RYve		
	Perférrico	LVj	Tb Distrófico	RYbd		
VERMELHO	Acriférrico	LVwf	Tb Eutrófico	RYbe		
	Ácrico	LVw	Húmico	RRh		
	Aluminoférrico	LVaf	Distro-úmbrico	RRdh		
	Distroférrico	LVdf	Distrófico	RRd		
	Distrófico	LVd	Eutro-úmbrico	RReh		
	Eutroférrico	LVef	Eutrófico	RRe		
	Eutrófico	LVe	Hidromórfico	RQg		
	Acriférrico	LVAwf	Órtico	RQo		
	VERMELHO-AMARELO	Ácrico	LVAw	ORDEM: NITOSSOLOS		
		Alumínico	LVAa	Subordem	Grande Grupo	Símbolo
Distroférrico		LVAdf	BRUNO	Aluminoférrico	NBaf	
Distrófico		LVAf		Alumínico	NBa	
Eutrófico	LVAe	Distroférrico		NBdf		
		Distrófico		NBd		
ORDEM: LUVISSOLOS			VERMELHO	Alítico	NVal	
Subordem	Grande Grupo	Símbolo		Alumínico	NVa	
CRÔMICO	Carbonático	Tck		Distroférrico	NVdf	
	Pálico	TCp		Distrófico	NVd	
HÁPLICO	Órtico	TCo	Eutroférrico	NVef		
	Pálico	TXp	Eutrófico	NVe		
	Órtico	TXo	HÁPLICO	Alumínico	NXa	
ORDEM: ORGANOSSOLOS				Distrófico	NXd	
Subordem	Grande Grupo	Símbolo		Eutrófico	NXe	
TIOMÓRFICO	Fibrico	OJfi	ORDEM: PLINTOSSOLOS			
	Hêmico	OJy	Subordem	Grande Grupo	Símbolo	
	Sáprico	OJs	PÉTRICO	Litoplítico	FFf	
FÓLICO	Fibrico	OOfi		Concrecionário	FFe	
	Hêmico	O Oy	Alítico	FTal		
	Sáprico	O Os	ARGILÚVICO	Alumínico	FTa	
Fibrico	O Xfi	Distrófico		FTd		
HÁPLICO	Hêmico	O Xy		Eutrófico	FTe	
	Sáprico	O Xs	HÁPLICO	Alítico	FXal	
ORDEM: PLANOSSOLOS				Alumínico	FXa	
Subordem	Grande Grupo	Símbolo		Ácrico	FXw	
NÁTRICO	Carbonático	SNk		Distrófico	FXd	
	Sálico	SNz		Eutrófico	FXe	
	Órtico	SNo	ORDEM: PLINTOSSOLOS			
HÁPLICO	Carbonático	SXk	Subordem	Grande Grupo	Símbolo	
	Sálico	SXz	HIDROMÓRFICO	Carbonático	VGk	
	Alítico	SXal		Sódico	VGn	
	Alumínico	SXa		Sálico	VGz	
	Eutrófico	SXe		Órtico	VGo	
Distrófico	SXd	Carbonático		VEk		
			Sódico	VE n		
			Órtico	VEo		
			Carbonático	VXk		
			Sódico	VXn		
			Sálico	VXz		
			Órtico	VXo		

Fonte: IBGE, 2007

1º Nível: Ordens

São divididas em 13 classes separadas pelos seguintes critérios: presença ou não de atributos, horizontes diagnósticos ou propriedades que possam ser identificadas em campo, mostrando as diferenças dos processos que atuaram na formação do solo.

2º Nível: Subordens

Neste nível as classes foram separadas por propriedades ou características que mostram a ação de outros processos de formação que agiram em conjunto, ou afetaram de alguma forma o processo principal que foi utilizado para classificar o solo como 1º nível. Notam-se ainda as características responsáveis pela ausência de diferenciação de horizontes diagnósticos; ou, apresenta, propriedades importantes da formação do solo que são muito importante para o crescimento das plantas; ou, apresentam propriedades ou características particulares que possam apresentar variações significativas dentro do 1º nível.

3º Nível: Grandes Grupos

Os grandes grupos foram separados por uma ou mais das seguintes características: tipo e arranjo dos horizontes, atividade da argila ou a presença de horizontes ou propriedades que possam afetar o movimento da água no solo.

4º Nível: Subgrupos

Os subgrupos foram separados por uma das seguintes características: representam o conceito central da classe, ou, representam os intermediários para o 1º, 2º ou 3º nível de categoria, ou, representam solos com características únicas.

5º Nível: Famílias

O quinto nível ainda não foi estruturado, porém as classes seguirão com base nas propriedades físicas, químicas e mineralógicas além de propriedades que mostram as condições ambientais.

6º Nível:

O sexto nível também não foi estruturado ainda, corresponde ao nível de “série de solos” e deverá ser utilizada em levantamentos detalhados.

Uma sucinta descrição dos tipos de solos do Brasil pode ser observado a seguir, em seu nível de Ordem.

Argissolos

Os solos têm como característica um aumento de argila do horizonte A para o B. Quanto a profundidade, são em geral pouco profundos e profundos. Juntamente com o latossolo os mais expressivos do Brasil, apresentando-se em quase todas as regiões (Figura A2).

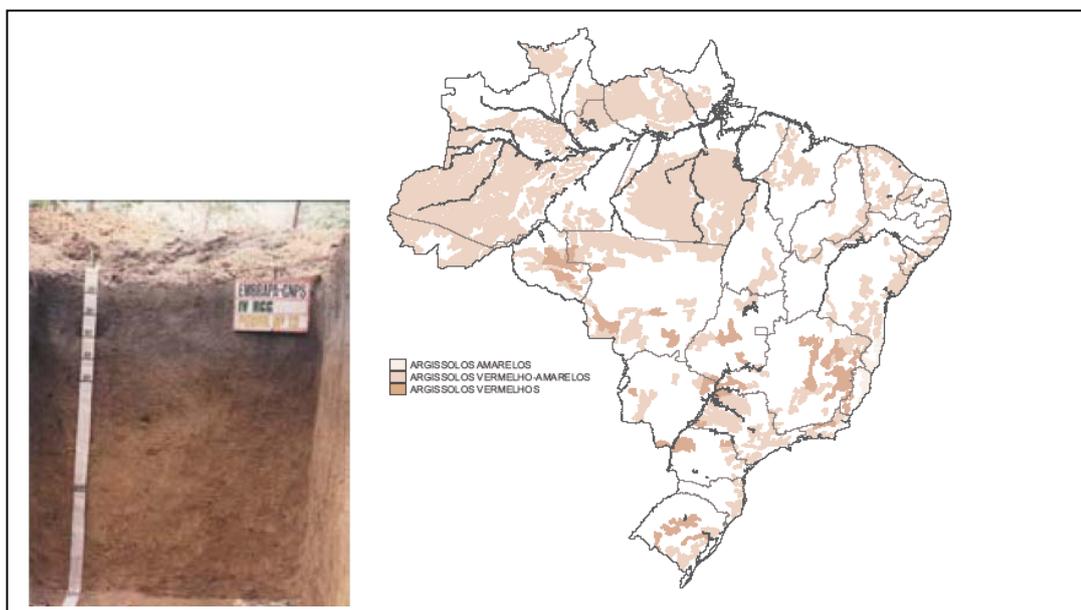


Figura A2 – Localização dos argissolos no Brasil.
Fonte: IBGE, 2007.

Cambissolos

Tem grande variação na profundidade, chegando de rasos a profundos. A drenagem vertical varia de acentuada a imperfeita. Muitas vezes são cascalhentos e mesmo rochosos. Ocorrem em todas as regiões do Brasil, preferencialmente em regiões serranas e montanhosas (Figura A3).

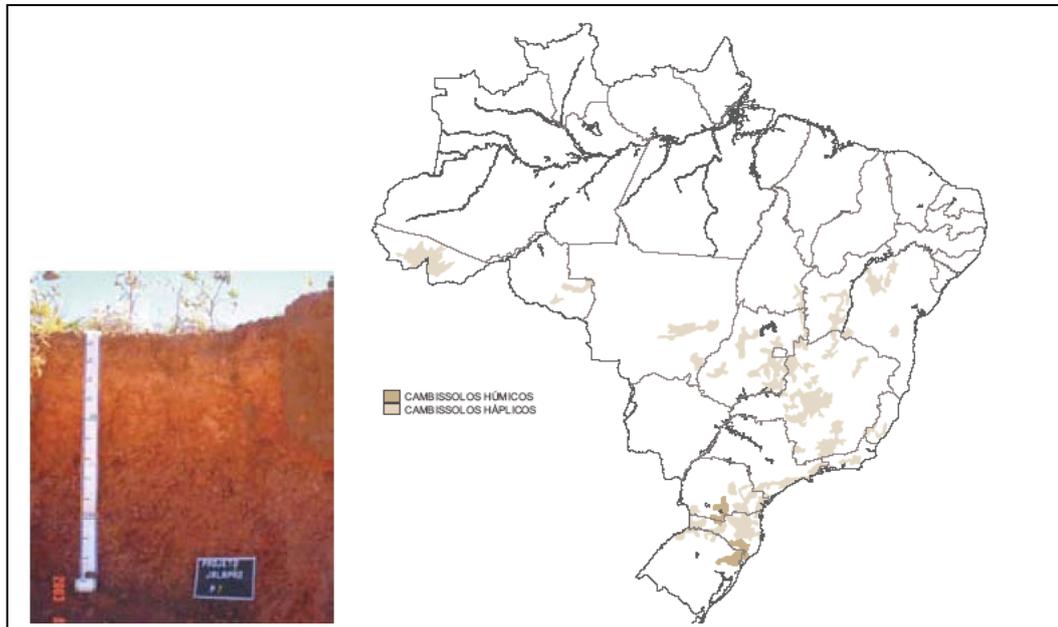


Figura A3 – Localização dos cambissolos no Brasil.

Fonte: IBGE, 2007.

Chernossolos

São solos de pequena a média espessuras com consideráveis teores de matéria orgânica. Possuem horizontes subsuperficiais com argila de alta atividade. Apresenta-se de forma dispersa no Brasil (Figura A4).

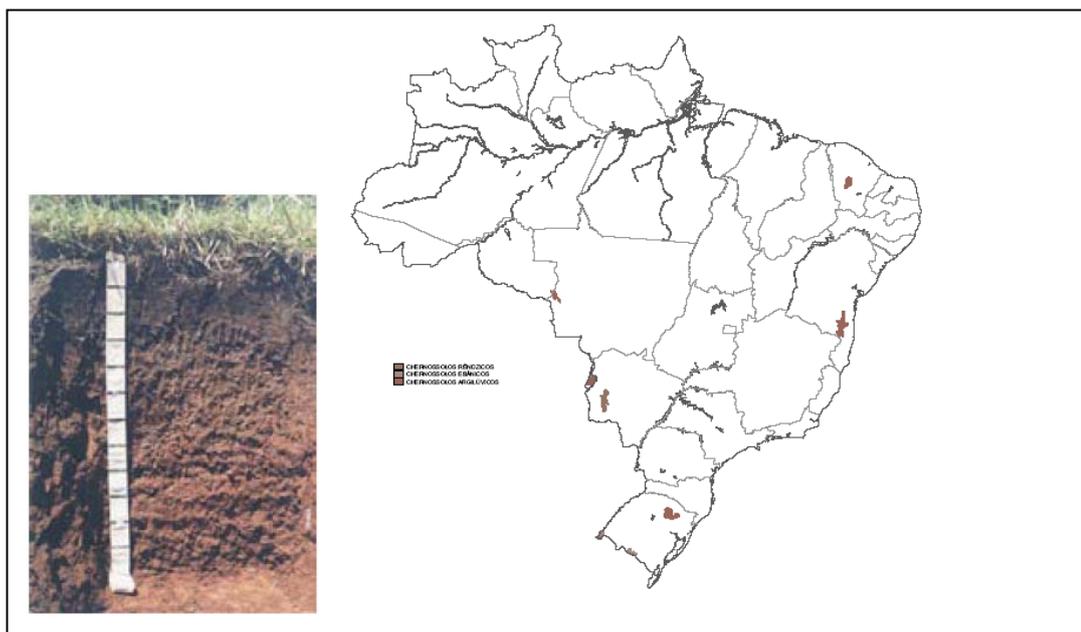


Figura A4 – Localização dos chernossolos no Brasil.

Fonte: IBGE, 2007.

Espodossolos

Ocorre em profundidades variáveis chegando a mais de 3 metros na região amazônica. Tem textura predominantemente arenosa. Encontram-se esparsadamente ao longo da costa leste brasileira com ocorrência expressiva na região Amazônica e no Pantanal (Figura A5).

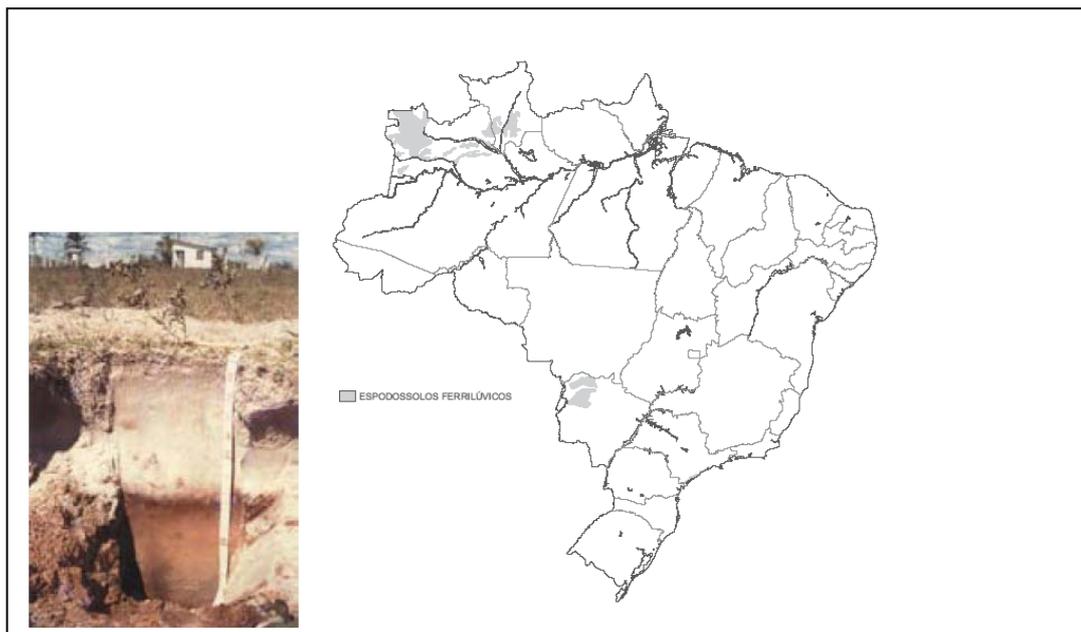


Figura A5 – Localização dos espodossolos no Brasil.

Fonte: IBGE, 2007.

Gleissolos

Apresentam-se em áreas alagadas ou sujeitas a alagamento (margens de rios, ilhas, grandes planícies, etc.). Tem nas condições de má drenagem vertical a sua maior limitação de uso. Ocorrem em praticamente em todas as regiões brasileiras em planícies de inundação de rios e córregos (Figura A6).

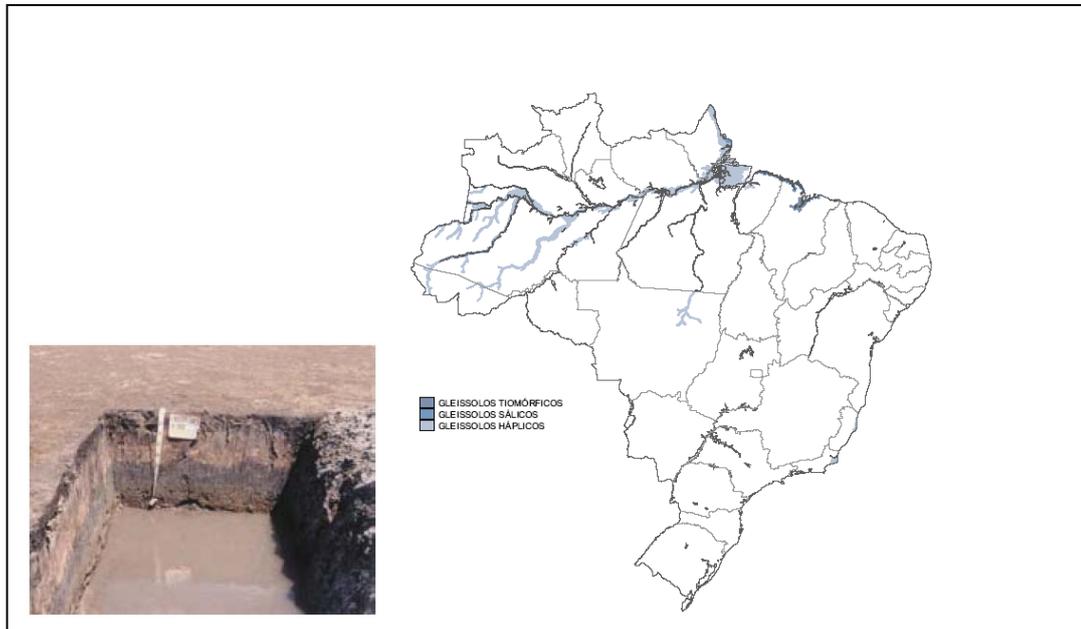


Figura A6 – Localização dos gleissolos no Brasil.

Fonte: IBGE, 2007.

Latosolos

São muito intemperizados, profundos, homogêneos e de boa drenagem vertical. Estão presentes em quase todo o Território Nacional diferenciando-se entre si principalmente pela coloração e teores de óxidos de ferro, que determinaram a separação em mais quatro classes ou subordem (Figura A7).

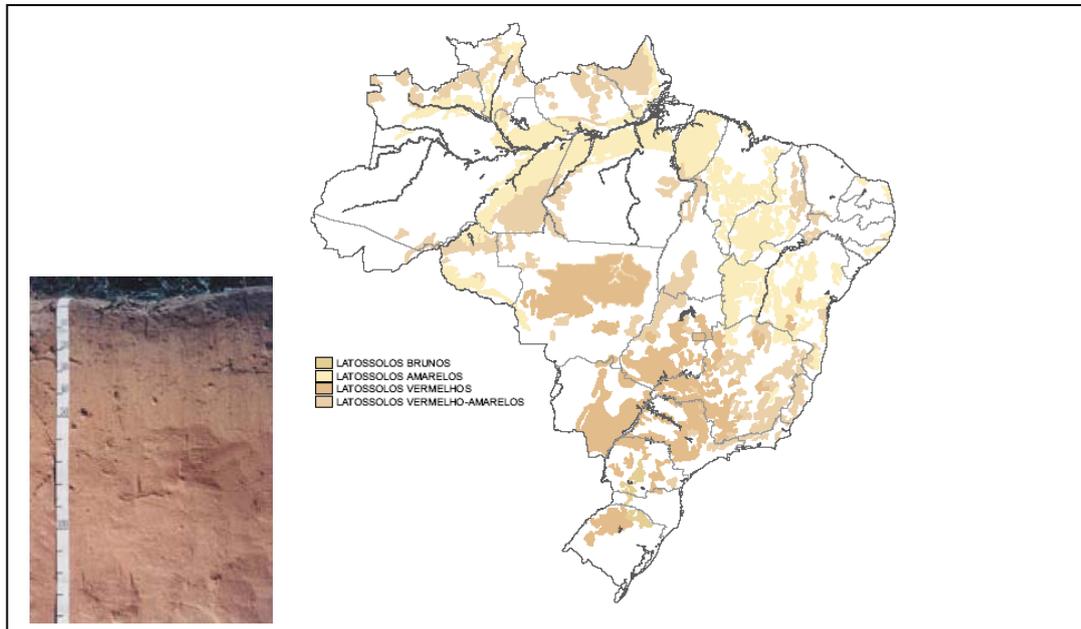


Figura A7 – Localização dos latossolos no Brasil.

Fonte: IBGE, 2007.

Luvisolos

Solos de média profundidade, argila de alta atividade e alta saturação por bases. São moderadamente ácidos e ligeiramente alcalinos. Localizam-se principalmente em regiões como o semi-árido nordestino, Região Sul, na Região Amazônica e no Estado do Acre. Na Região Sul são utilizadas como lavouras de grãos e pastagens (Figura A8).

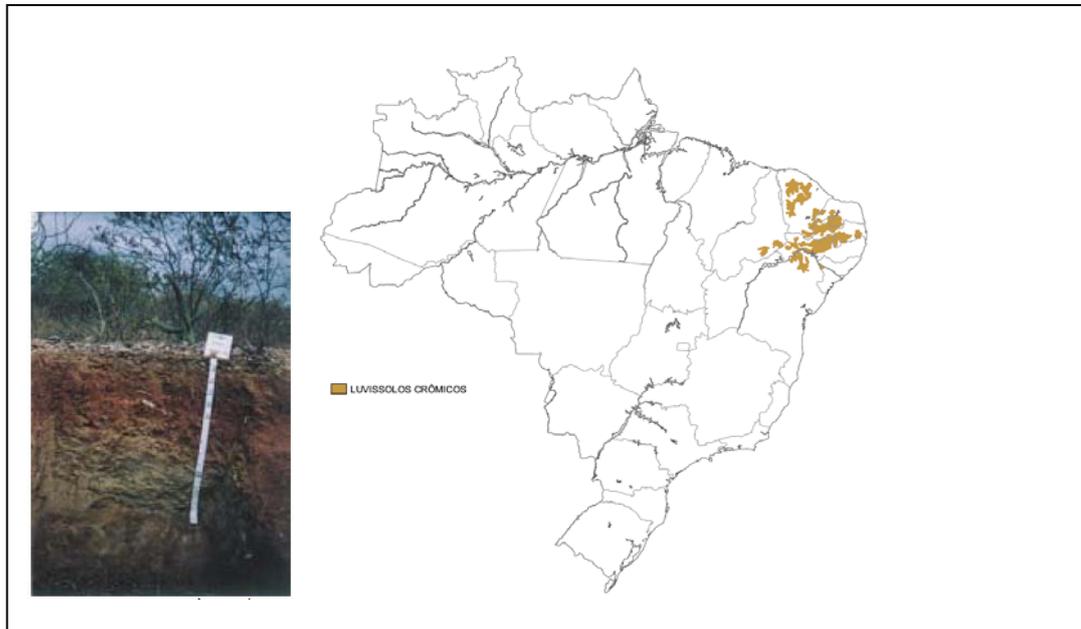


Figura A8 – Localização dos luvisolos no Brasil.
Fonte: IBGE, 2007.

Neossolos

São solos constituídos por material mineral ou material orgânico pouco espesso. Os solos rasos são os Neossolos Litólicos, profundo e arenoso os Neossolos Quartzarênicos, profundos e arenosos com presença mineral primários de fácil intemperização os Neossolos Regolíticos e os constituídos de camadas de natureza aluvionar os Neossolos Flúvicos. Localizam-se em quase todas as regiões do País, porém de forma dispersa como nas planícies a margem de rios e córregos (Neossolos Flúvicos) e nos relevos muito acidentados de morrarias e serras (Neossolos Litólicos).

O Neossolos Quartzarênicos são comumente encontrados nas regiões litorâneas e em alguns Estados do Nordeste, Centro-Oeste, Norte, além de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Tocantins. Os Neossolos Regolíticos são encontrados em alguns locais na região serrana do Sudeste, com maior abundância na região do semi-árido Nordestino e Mato Grosso do Sul (Figura A9).

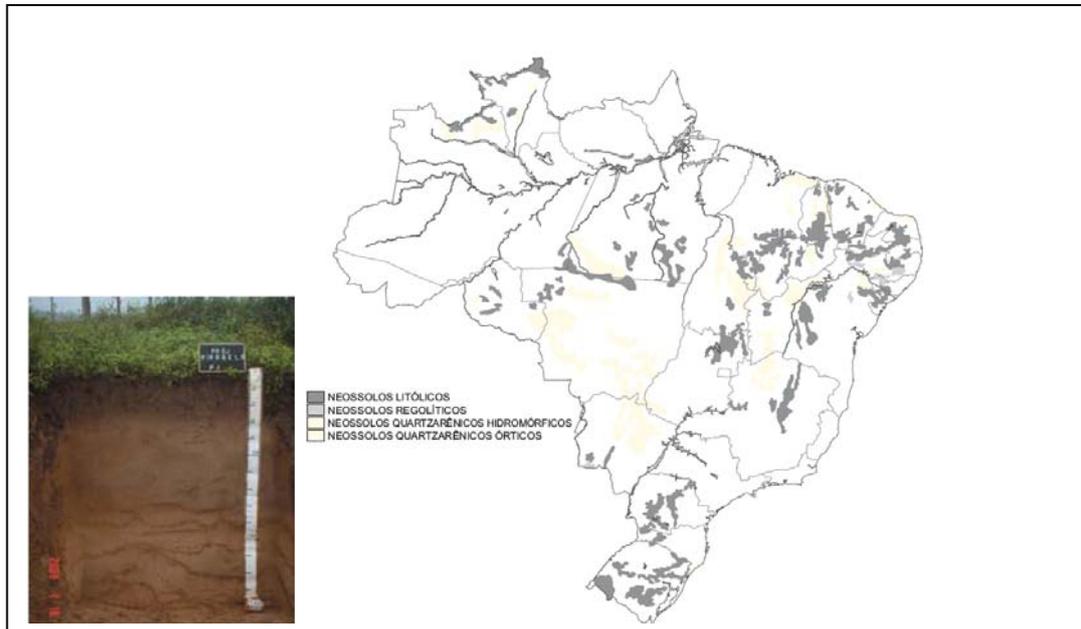


Figura A9 – Localização dos neossolos no Brasil.

Fonte: IBGE, 2007.

Nitossolos

São solos de uma ordem recém criada com textura argilosa ou muito argilosa com argila alta e baixa atividade. São em geral moderadamente ácidos a ácidos. Os Nitossolos Vermelhos, são muito expressivos em terras da bacia platina que se estende desde o Rio Grande do Sul a Goiás, incluindo Tocantins, Maranhão, Mato Grosso, Pará e etc. Os Brunos localizam-se nas regiões altas do Sul do País e Região de Poços de Caldas – MG (Figura A10).

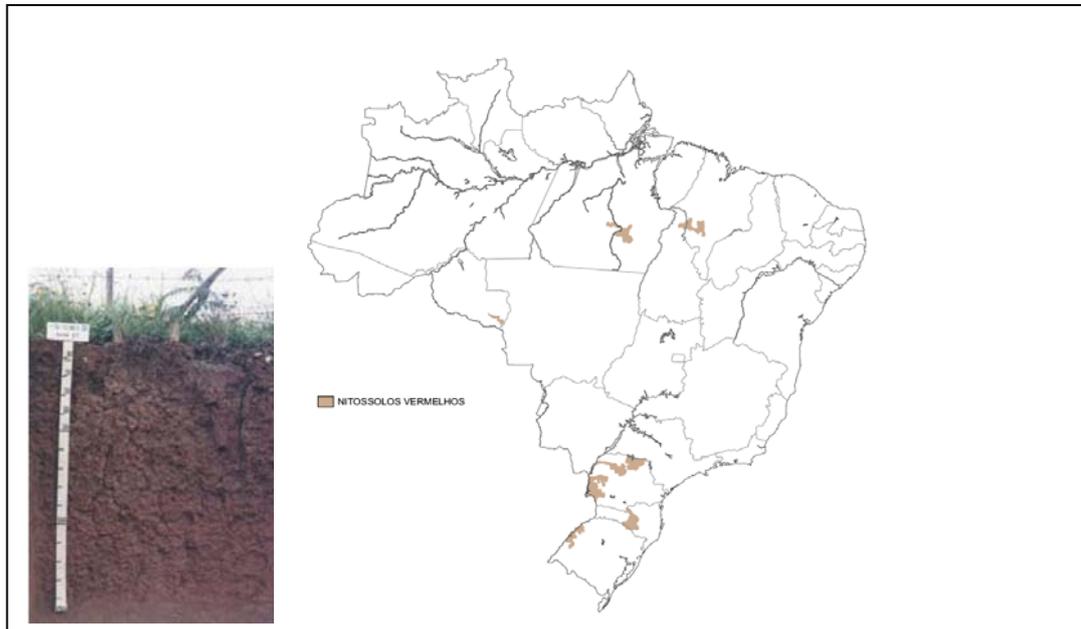


Figura A10 – Localização dos nitossolos no Brasil.
Fonte: IBGE, 2007.

Organossolos

São solos pouco evoluídos, constituídos por material orgânico da acumulação de restos vegetais em grau variado de decomposição, em ambientes mal a muito mal drenados ou úmidos de altitude elevada e que ficam rapidamente saturados com pouco dias de chuva. Tem cor preta, cinza escuro ou marrom e elevados teores de carbono orgânico. Tem ocorrência em regiões baixas ou alagadas, como planícies de inundação de rios e córregos e áreas deprimidas. Há ocorrência no Estado de São Paulo, no Rio de Janeiro, no extremo sul baiano, no Estado do Paraná, no litoral dos Estados do Sul e Sudeste com presença significativa em planícies de córregos do Brasil Central (Figura A11).



Figura A11 – Foto de organossolo.
Fonte: IBGE, 2007

Planossolos

São solos minerais, mal drenados, com alta concentração de argila, com permeabilidade lenta ou muito lenta. Caracterizam-se pela ocorrência de mudança textural abrupta entre os horizontes. Tem presença expressiva no Nordeste, no Pantanal Mato-grossense e no sul do Rio Grande do Sul (Figura A12).

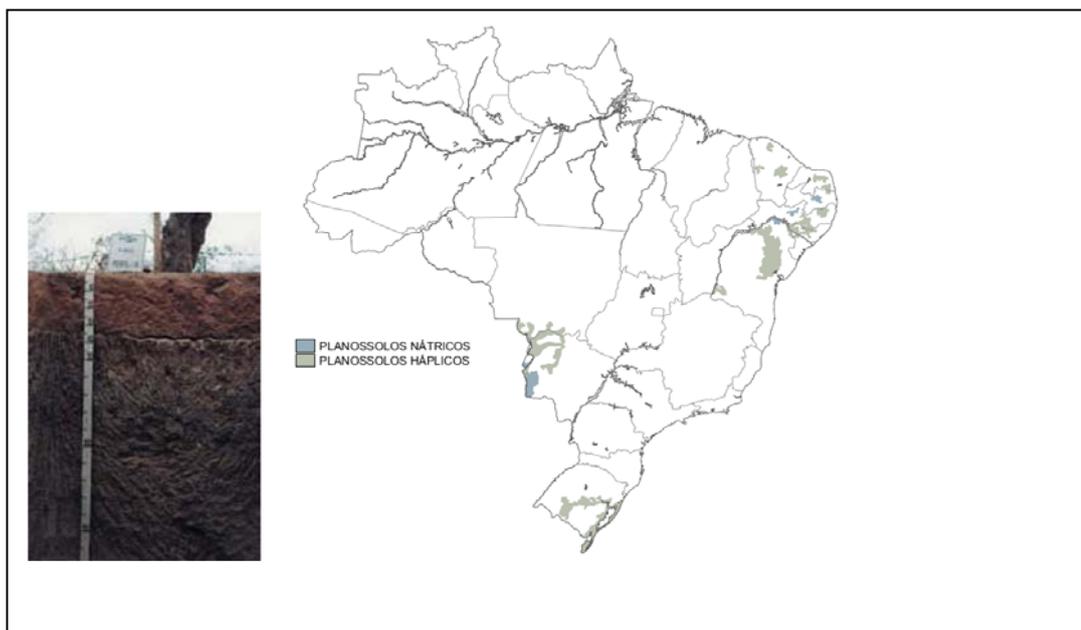


Figura A12 – Localização dos planossolos no Brasil.
Fonte: IBGE, 2007.

Plintossolos

Solos com presença de plintitização (acumulação localizada de óxidos de ferro) com ou sem petroplintita (segregação localizada de ferro, como cimentação). Os Plintossolos Argilúvicos e Hápticos apresentam drenagem restrita. Tem presença nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, além do Pantanal Mato-grossense e planícies no Araguaia e Guaporé. Os Plintossolos Pétricos possuem melhor drenagem. Apresentam-se nos planaltos da regiões Centro-Oeste e Norte e alguns platôs da Amazônia (Figura A13).

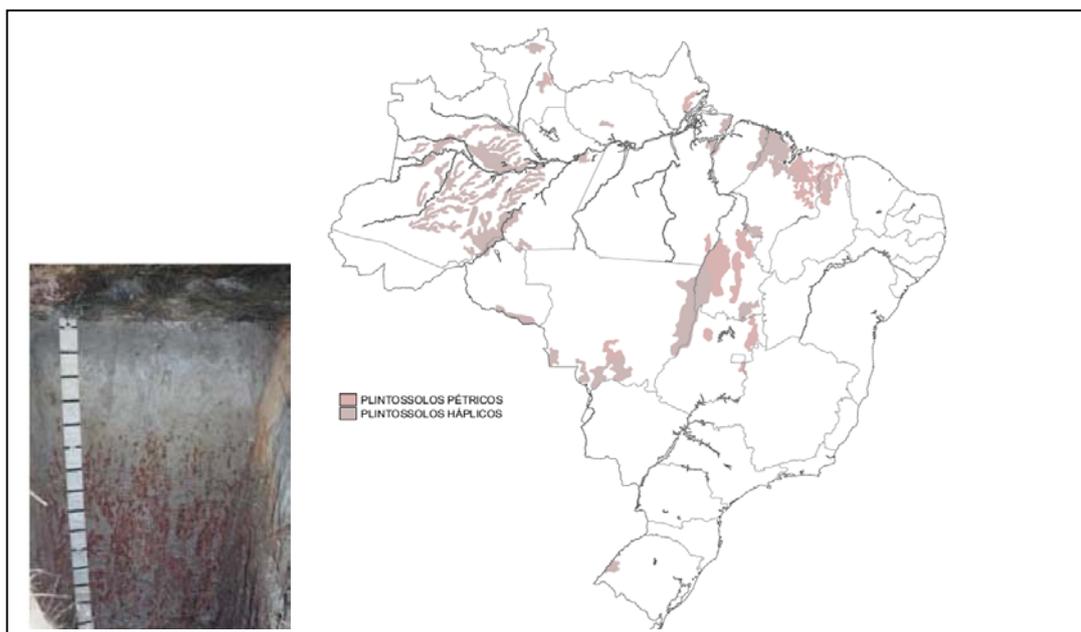


Figura A13 – Localização dos plintossolos no Brasil.
Fonte: IBGE, 2007.

Vertissolos

São solos minerais, profundos e pouco profundos, normalmente com presença de fendas no perfil como consequência da expansão e retração do material argiloso. Localizam-se no semi-árido nordestino, no Pantanal Mato-grossense, Campanha Gaúcha e no Recôncavo Baiano (Figura A14).

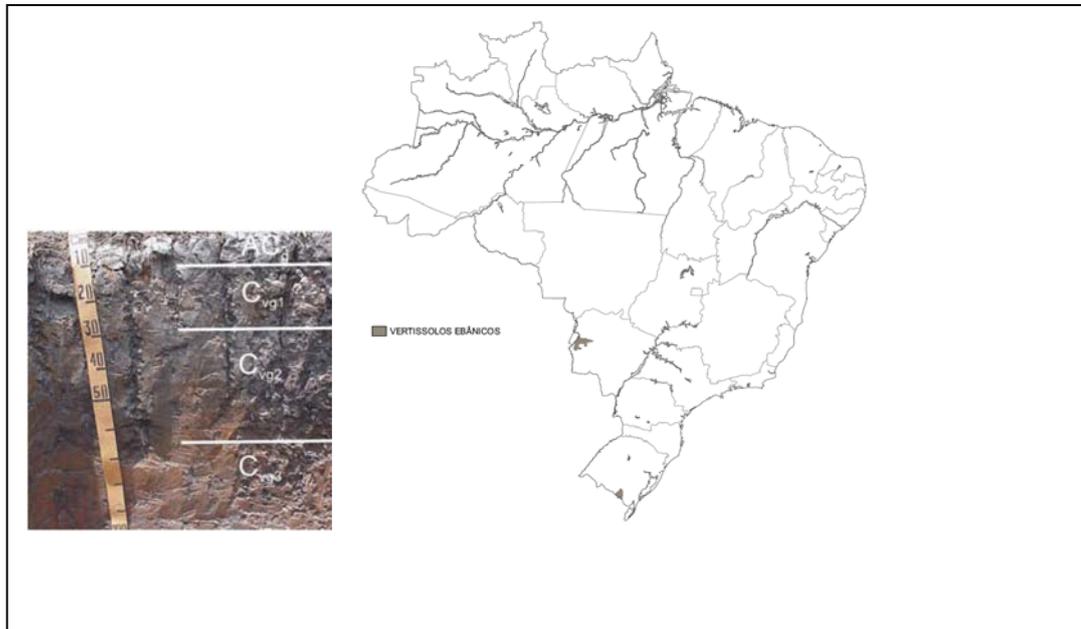


Figura A14 – Localização dos vertissolos no Brasil.
Fonte: IBGE, 2007.

A Figura A15 mostra, de forma conjunta, todos os tipos de solos do território brasileiro, segundo o IBGE.

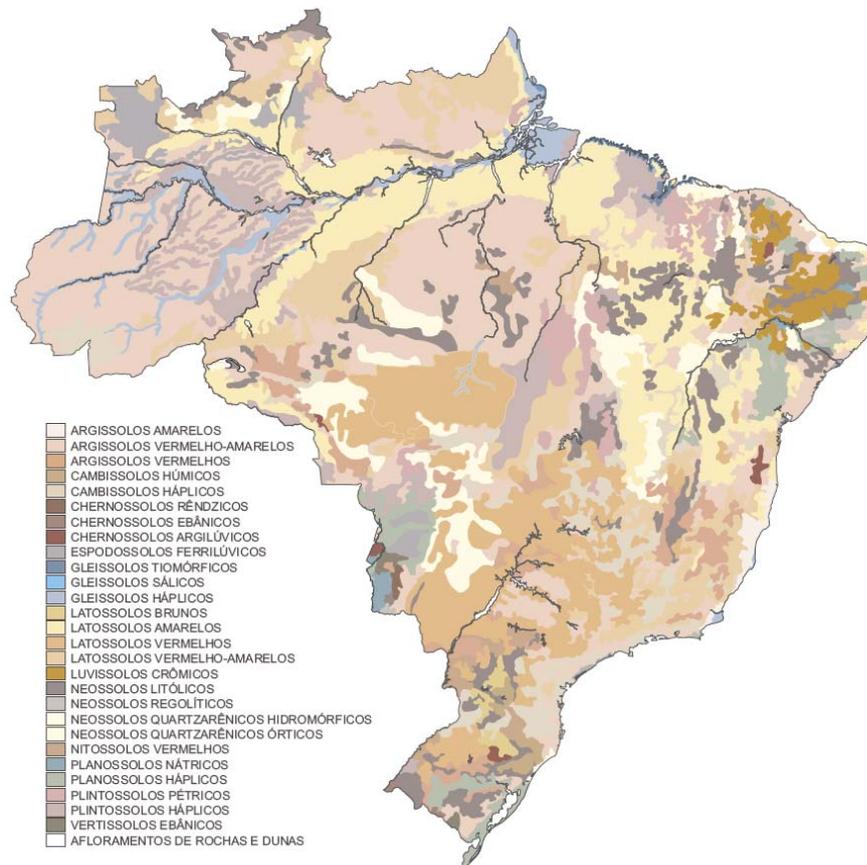


Figura A15 – Mapa dos principais solos do Brasil.
 Fonte: Atlas nacional do Brasil *apud* IBGE, 2007.

O Solo em Santa Catarina

Com o intuito de subsidiar estudos com informações atualizadas sobre o solo catarinense, a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI juntamente com Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – EMBRAPA, desenvolveram o Mapa de Solos de Santa Catarina. A Figura A16 mostra os principais solos existentes no Estado. A legenda de cores segue o padrão nacional e pode ser observada no Anexo B.

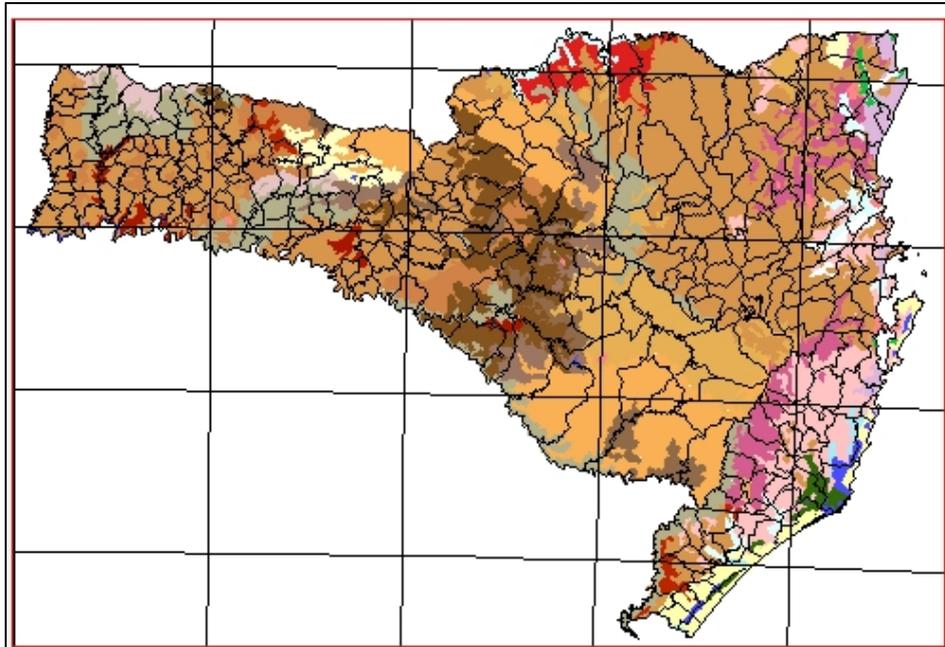


Figura A16 – Mapa de solos de Santa Catarina.

Fonte: EMBRAPA/EPAGRI, 2007.

Os solos do Estado de Santa Catarina apresentam-se bastante variados. De forma geral, os principais solos existentes na região são os Argissolos Vermelho-Amarelo, Argissolos Acinzentado, Cambissolos Húmico, Cambissolos Háplico, Espodossolos Ferrocárbico, Espodossolos Cárbico, Gleissolos Háplico, Latossolos Vermelho-Amarelo, Latossolos Bruno, Neossolos Flúvico, Neossolos Quartzarenico, Neossolos Litólico, Nitossolos Háplico, Nitossolos Vermelho, Organossolos Háplico e o Organossolos Mesico.

Com o intuito de detalhar ainda mais o mapa de solos do Estado, a EMBRAPA/EPAGRI realizaram estudos localizados. Como resultado, pode-se observar na Figura A17 o mapa de solos da região do Alto Vale do Itajaí.

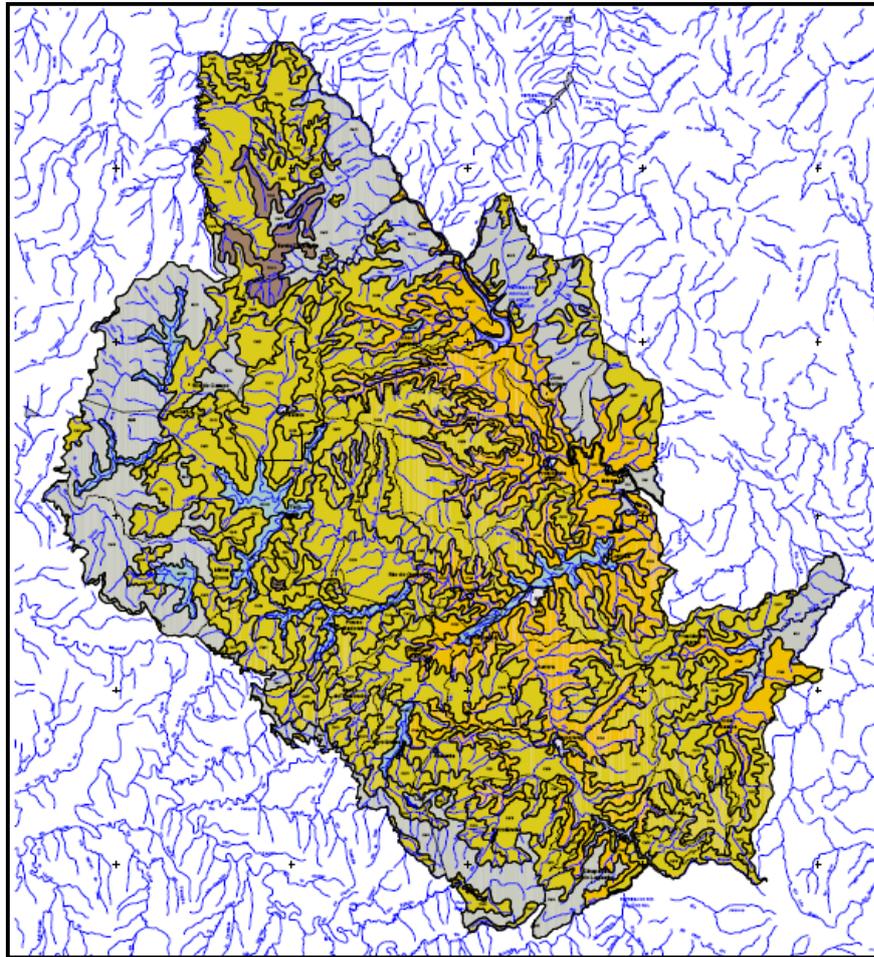


Figura A17 – Mapa de solos da região do Alto Vale do Itajaí.

Fonte: EPAGRI, 2002.

Nota-se que, em sua maioria, os tipos de solos existentes na região são os cambissolos e os argissolos e em sua minoria, gleissolos, neossolos e nitossolos. Na Figura A18 pode-se observar mais detalhadamente o município de Ituporanga-SC (destacado em vermelho), bem como os dois principais tipos de solos da municipalidade, os argissolos e os cambissolos.

Tabela A1 – Classificação do solo e relevo da região de Ituporanga-SC.

Relevo e Solo	Área (ha)
0,6% solos planos hidromórficos Gleissolos (Gleis)	1.710
51% solos suaves ondulados e ondulados – Cambissolos (113.450 ha) e Argissolos (Podzólicos – 24.800 ha)	138.250
34% solos declivosos – Cambissolos (75.630 ha) e Argissolos (Podzólicos – 16.540 ha)	92.170
13,5% solos rasos – Neossolos (Litossolos e solos Litólicos)	36.675
0,9% outros solos, corpos de água e áreas urbanas	2.515
Região	271.320*

Fonte: EMBRAPA, 2000

* A diferença entre a área total e esta citada é ocupada por estradas

A região de estudo, ou mais especificamente a região do entorno do lago apresenta características de gleissolos (solos característicos de áreas sujeitas a alagamento). Apresenta cor acinzentada e tem na má drenagem vertical sua maior limitação de uso. Em seu segundo e terceiro nível apresenta características de solos Háplicos Ta Distróficos, ou seja, solos com argila de atividade alta; solo que apresenta alto índice de consistência, fornecendo comportamento coesivo em função da argila; e baixa saturação por bases; que está relacionado ao baixo pH do solo. Ainda, tal solo apresenta característica neofluviossólico, ou seja, solos intermediários para neossolos flúvicos com característica flúvica. Os neossolos flúvicos são solos provindos de sedimentos aluviais. Quando ocorrem abaixo do horizonte A apresentam-se abaixo de 1,50 metros de profundidade. Em resumo, o solo da região do entorno do lago e mais especificamente a região de implantação do poço tem como característica o Gleissolo Háplico Ta Distróficos neofluviossólico.

ANEXOS

ANEXO A - Nomenclatura de horizontes e camadas de solos segundo o Instituto Brasileiro IBGE, 2007

Definição de símbolos e sufixos de horizontes e camadas segundo o SiBCS.

A seguir são caracterizados sucintamente os símbolos e notações de horizontes e camadas de solo adotados no Brasil. Definições pormenorizadas podem ser encontradas na publicação Definição e notação de horizontes e camadas do solo (1998), da Embrapa.

Para a designação dos horizontes e camadas do solo, usam-se letras maiúsculas, minúsculas e números arábicos. As letras minúsculas são usadas como sufixos para qualificar distinções específicas dos horizontes ou camadas principais, diagnósticos ou não, enquanto as maiúsculas são usadas para designar horizontes ou camadas principais, horizontes transicionais ou combinações destes.

Prefixos numéricos (ex.: 2, 3, etc.) são usados para denotar descontinuidade litológica. Por convenção o 1 não é mostrado, ex.: A, E, Bt1, 2Bt2, 2BC, 3C1, 3C2.

Sufixos numéricos são usados para subdivisão de horizontes principais em profundidade. A divisão é feita a partir da parte superior do horizonte, de forma sucessiva, sendo o símbolo numérico colocado após todas as letras usadas para designar o horizonte. Ex. A1, A2, E, Bt1, Bt2, Bt3, BC e C.

A numeração é reiniciada sempre que houver mudança de simbolização alfabética na seqüência vertical de horizontes. Ex.: Bt1, Bt2, Btx1, Btx2; C1, C2, Cg1, Cg2. Para horizonte A ou H qualificados com sufixo p, a numeração não é reiniciada.

Observações:

- Prefixo numérico pode ser usado em R, se admitido que o material originário do solo não foi produzido por rocha da mesma natureza da subjacente.
- Em caso de Organossolos, não se usam os prefixos numéricos para expressar material contrastante.

- Em caso de ocorrer dois ou mais horizontes com a mesma designação, separados por horizontes ou camadas de natureza diversa, usa-se o símbolo (‘) posposto à letra maiúscula designativa do segundo horizonte repetido na seqüência, como no exemplo: A, E, BE, Bhs, E’, BC, ou Hd, C, H’d, C.
- Caso raro de ocorrência de três horizontes com a mesma designação no mesmo perfil, usa-se o símbolo duplo (“), posposto à letra maiúscula designativa do 3º horizonte.
- Quando cabível o uso de mais de um sufixo, as letras d, i, o, h, s, t, u, r, w têm precedência sobre os demais sufixos necessários para completar a designação integral de horizontes ou camadas.
- Sufixo b, conotativo de horizonte enterrado, deve ser precedido de outro sufixo, quando em notação binária, como por exemplo, Btb.

A seguir é apresentada de forma sintética, a conceituação de símbolos e sufixos utilizados para designação de horizontes e camadas.

Símbolos de horizontes e camadas

O - Horizonte ou camada superficial de cobertura, de constituição orgânica, sobreposto a alguns solos minerais, podendo estar ocasionalmente saturado com água.

H - Horizonte ou camada de constituição orgânica, superficial ou não, composto de resíduos orgânicos acumulados ou em acumulação sob condições de prolongada estagnação de água, salvo se artificialmente drenado.

A - Horizonte mineral, superficial ou em seqüência a horizonte ou camada O ou H, de concentração de matéria orgânica decomposta e perda ou decomposição principalmente de componentes minerais. (Fe, Al e argila).

AB (ou AE) - Horizonte subsuperficial, com predomínio de características de horizonte A e algumas características de horizonte B (ou E).

A/B (ou A/E ou A/C) - Horizonte mesclado com partes de horizonte A e de horizonte B (ou A e E ou A e C), porém com predomínio de material de A.

AC - Horizonte subsuperficial, com predomínio de características de horizonte A e algumas características de horizonte C.

E - Horizonte mineral, cuja característica principal é a perda de argilas silicatadas, óxidos de ferro e alumínio ou matéria orgânica, individualmente ou em conjunto, com resultante concentração residual de areia e silte constituídos de quartzo ou outros minerais resistentes e/ou resultante descoramento.

EA (ou EB) - Horizonte subsuperficial, com predomínio de características de horizonte E e algumas características de horizonte A (ou B).

E/A - Horizonte mesclado com partes de horizonte E e de horizonte A, porém com predomínio de material de E.

E/Bt - Presença de lamelas espessas (Bt), dentro de horizonte E.

BA (ou BE) - Horizonte subsuperficial, com predomínio de características de horizonte B e algumas características de horizonte A (ou E).

B/A (ou B/E) - Horizonte mesclado com partes de horizonte B e de horizonte A (ou E), porém com predomínio de material de B.

B - Horizonte subsuperficial de acumulação de argila, Fe, Al, Si, húmus, CaCO₃, CaSO₄, ou de perda de CaCO₃, ou de acumulação de sesquióxidos; ou com bom desenvolvimento estrutural.

BC - Horizonte subsuperficial, com predomínio de características de horizonte B e algumas características de horizonte C.

B/C - Horizonte mesclado com partes de horizonte B e de horizonte C, porém com predomínio de material de B.

CB (ou CA) - Horizonte subsuperficial, com predomínio de características de horizonte C e algumas características de horizonte B (ou A).

C/B (ou C/A) - Horizonte mesclado com partes de horizonte C e de horizonte B (ou A), porém com predomínio de material de C.

C - Horizonte ou camada mineral de material inconsolidado sob o solum, relativamente pouco afetado por processos pedogenéticos, a partir do qual o solum pode ou não ter se formado, sem ou com pouca expressão de propriedades identificadoras de qualquer outro horizonte principal.

F - Horizonte ou camada de material mineral consolidada sob A, E ou B, rico em ferro e/ou alumínio e pobre em matéria orgânica, proveniente do endurecimento irreversível da plintita, ou originado de formas de concentração possivelmente não derivadas de plintita, inclusive promovidas por translocação lateral de ferro e/ou alumínio.

R - Camada mineral de material consolidado, que constitui substrato rochoso contínuo ou praticamente contínuo, a não ser pelas poucas e estreitas fendas que pode apresentar.

Sufixos de horizontes e camadas

a - Propriedades ândicas:

Usado com A, B e C para designar constituição dominada por material amorfo, de natureza mineral, oriundo de transformações de materiais vulcanoclásticos.

b - Horizonte enterrado:

Usado com H, A, E, B e F para designar horizontes enterrados, se suas características pedogenéticas principais puderem ser identificadas como tendo sido desenvolvidas antes do horizonte ser enterrado.

c - Concreções ou nódulos endurecidos:

Usado com A, E, B e C para designar acumulação significativa de concreções ou nódulos, cimentados por material outro que não seja sílica.

d - Acentuada decomposição de material orgânico:

Usado com O e H para designar muito intensa ou avançada decomposição do material orgânico, do qual pouco ou nada resta de reconhecível da estrutura dos resíduos de plantas, acumulados conforme descrito nos horizontes O e H.

e - Escurecimento da parte externa dos agregados por matéria orgânica não associada a sesquióxidos:

Usado com B e parte inferior de horizontes A espessos, para designar horizontes mais escuros que os contíguos, podendo ou não ter teores mais elevados de matéria orgânica, não associada com sesquióxidos, do que o horizonte sobrejacente.

f - Material laterítico e/ou bauxítico brando (plintita):

Usado com A, B e C para designar concentração localizada (segregação) de constituintes minerais secundários, ricos em ferro e/ou alumínio, em qualquer caso, pobre em matéria orgânica e em mistura com argila e quartzo. Indicativo de presença de plintita.

g – Glei:

Usado com A, E, B e C para designar desenvolvimento de cores cinzentas, azuladas, esverdeadas ou mosqueamento bem expresso dessas cores, decorrentes da redução do ferro, com ou sem segregação.

h - Acumulação iluvial de matéria orgânica:

Usado exclusivamente com B para designar relevante acumulação iluvial, essencialmente de matéria orgânica ou de complexos orgânico-sesquioxídicos amorfos dispersíveis, se o componente sesquioxídico é dominado por alumínio e está presente em quantidade muito inferior em relação à matéria orgânica.

i - Incipiente desenvolvimento de horizonte B:

Usado exclusivamente com B para designar transformações pedogenéticas pouco expressivas, que se manifestam como: decomposição fraca do material originário ou constituintes minerais, associada à formação de argila, desenvolvimento de cor ou de estrutura; alteração química intensa associada a destruição apenas parcial da estrutura da rocha matriz e/ou desenvolvimento de cor em materiais areno-quartzosos.

j – Tiomorfismo:

Usado com H, A, B e C para designar material palustre, permanente ou periodicamente alagado, de natureza mineral ou orgânica, rico em sulfetos (material sulfídrico).

k - Presença de carbonatos:

Usado com A, B e C para designar presença de carbonatos alcalino-terrosos, remanescentes do material originário, sem acumulação, comumente carbonato de cálcio.

k- - Acumulação de carbonato de cálcio secundário:

Usado com A, B e C para designar horizonte de enriquecimento com carbonato de cálcio secundário.

m - Extremamente cimentado:

Usado com B e C para designar cimentação pedogenética extraordinária e irreversível (mesmo sob prolongada imersão em água), contínua ou quase contínua.

n - Acumulação de sódio trocável:

Usado com H, A, B e C para designar acumulação de sódio trocável, expresso por $100.Na/T > 6\%$, acompanhada ou não de acumulação de magnésio trocável.

o - Material orgânico mal ou não decomposto:

Usado com O ou H para designar incipiente ou nula decomposição do material orgânico.

do - Material orgânico intermediário entre d e o com predomínio de d.

od - Material orgânico intermediário entre d e o com predomínio de o.

p - Aração ou outras pedoturbações:

Usado com H ou A para indicar modificações da camada superficial pelo cultivo, pastoreio, ou outras pedoturbações.

q - Acumulação de sílica:

Usado com B ou C para designar acumulação de sílica secundária (opala e outras formas de sílica).

qm - Usado com B ou C para designar acumulação de sílica secundária, em caso de ocorrer cimentação contínua por sílica.

r - Rocha branda ou saprolito:

Usado com C para designar presença de camada de rocha subjacente, intensamente ou pouco alterada, desde que branda ou semibranda. Esta notação identifica presença de saprolito.

s - Acumulação iluvial de sesquióxidos com matéria orgânica:

Usado exclusivamente com horizonte B para indicar relevante acumulação iluvial ou de translocação lateral interna no solo de complexos organo-sesquioxídicos amorfos dispersíveis.

t - Acumulação de argila:

Usado exclusivamente com B para designar relevante acumulação ou concentração de argila.

u - Modificações e acumulações antropogênicas:

Usado com A e H para designar horizonte formado ou modificado pelo uso prolongado do solo.

v - Características vérticas:

Usado com B ou C para designar características vérticas.

w - Intensa alteração com inexpressiva acumulação de argila, com ou sem concentração de sesquióxidos:

Usado exclusivamente com B para designar intensa alteração com inexpressiva acumulação de argila, com ou sem concentração de sesquióxidos.

x - Cimentação aparente, reversível:

Usado com B ou C e ocasionalmente E, para designar cimentação aparente, reversível.

y - Acumulação de sulfato de cálcio:

Usado com B ou C para indicar acumulação de sulfato de cálcio.

z - Acumulação de sais mais solúveis em água fria que sulfato de cálcio:

Usado com H, A, B ou C para indicar acumulação de sais mais solúveis em água fria que sulfato de cálcio.

ANEXO B – Convenção de cores para mapas segundo o SiBCS



Figura B1 – Convenção de cores para mapas e/ou cartas de solo segundo o SiBCS.
Fonte: IBGE, 2007.

ANEXO C – Etimologia dos termos e principais características associadas segundo o SiBCS

1º Nível – Ordem

Quadro C1 – Quadro dos principais termos do primeiro nível segundo o SiBCS

Nomenclatura	Etimologia	Características associadas
ARGISSOLOS	Do latim <i>argilla</i> , conotando solos com processo de acumulação de argila.	Horizonte B textural
CAMBISSOLOS	Do latim <i>cambiare</i> , trocar; conotativo de solos em formação (transformação).	Horizonte B incipiente
CHERNOSSOLOS	Do russo <i>chern</i> , negro; conotativo de solos ricos em matéria orgânica, com coloração escura.	A chernozêmico. Preto, rico em bases
ESPODOSSOLOS	Do grego <i>spodos</i> , cinza vegetal, solos com horizonte de acumulação de materiais orgânicos e outros.	Horizonte B espódico
GLEISSOLOS	Do russo <i>gley</i> , massa de solo pastosa; conotativo de excesso de água.	Horizonte glei
LATOSSOLOS	Do latim <i>lat</i> , material altamente alterado (tijolo); conotativo de elevado conteúdo de sesquióxidos.	Horizonte B latossólico
LUVISSOLOS	Do latim <i>luere</i> , lavar; conotativo de acumulação de argila.	Saturado. Acumulação de argila Ta (alta atividade)
NEOSSOLOS	Do grego <i>néos</i> , novo, moderno; conotativo de solos jovens, em início de formação.	Pequeno desenvolvimento
NITOSSOLOS	Do latim <i>nitidus</i> , brilhante; conotativo de superfícies brilhantes em unidades estruturais.	Horizonte B nítico
ORGANOSSOLOS	Do grego <i>organikós</i> , pertinente ou próprio dos compostos de carbono. Conotativo de solos de constituição orgânica, ambientes de grande umidade.	Horizonte H ou O hístico
PLANOSSOLOS	Do latim <i>planus</i> , plano, horizontal; conotativo de solos desenvolvidos com encharcamento superficial estacional.	Horizonte B plânico
PLINTOSSOLOS	Do grego <i>plinthos</i> , ladrilho; conotativo de materiais argilosos, coloridos, que endurecem quando expostos.	Horizonte plintico
VERTISSOLOS	Do latim <i>vertere</i> , conotativo de movimento na superfície do solo (expansão/contração).	Horizonte vértico

Fonte: IBGE, 2007

2º Nível – Subordem

Quadro C2 – Quadro dos principais termos do segundo nível segundo o SiBCS.

Nomenclatura	Características associadas
Amarelo, Acinzentado, Bruno-Acinzentado, Bruno, Vermelho, Vermelho-Amarelo	– Cores do Solo
Argilúvico	– B textural ou caráter argilúvico
Crômico	– Caráter crômico
Ebânico	– Caráter ebânico
Ferrilúvico, Humilúvico e Ferrihumilúvico	– Tipos de horizonte espódico (Bs, Bh ou Bhs, respectivamente)
Flúvico	– Caráter flúvico
Fólico	– Horizonte hístico + contato lítico
Háplico	– Quando empregado, se refere a todos os demais solos não distinguidos nas classes precedentes
Hidromórfico	– Restrição de drenagem (presença de horizonte glei)
Húmico	– Horizonte A Húmico
Litóxico	– Contato lítico dentro de 50cm da superfície
Melânico	– Horizontes hístico, húmico, proeminente e chernozêmico
Nátrico	– Caráter sódico
Pétrico	– Horizonte litoplítico ou concrecionário
Quartzarênico	– Textura arenosa desprovida de minerais alteráveis
Regolítico	– A, C + contato lítico além de 50cm da superfície + 4% de minerais alteráveis ou 5% de fragmentos de rocha
Rêndzico	– A chernozêmico coincidindo com caráter carbonático ou horizonte cálcico ou A chernozêmico com mais de 15% de CaCO ₃ equivalente, mais contato lítico
Sálico	– Caráter sálico
Tiomórfico	– Horizonte sulfúrico e/ou materiais sulfídricos

Fonte: IBGE, 2007

3º Nível – Grandes Grupos

Quadro C3 – Quadro dos principais termos do terceiro nível segundo o SiBCS.

Nomenclatura	Características associadas
Ácrico, Acriférico	– Caráter ácrico e caráter ácrico + teor de ferro
Alítico	– Caráter alítico
Alumínico, Aluminoférico	– Caráter alumínico e caráter alumínico + teor de ferro
Argila de Atividade Baixa e Alta (Tb e Ta)	– CTC e teor de argila
Carbonático	– Caráter carbonático ou horizonte cálcico
Concrecionário	– Horizonte concrecionário
Distrocoeso, Eutrocoeso	– Saturação por bases + caráter coeso
Distrófico, Eutrófico, Distroférico, Eutroférico	– Saturação por bases e saturação por bases + teor de ferro
Distro-úmbrico, Eutro-úmbrico	– Saturação por bases + horizonte A proeminente
Férico, Perférico	– Teor de ferro
Fibrício, Hêmico, Sáprico	– Grau de decomposição do material orgânico
Hidromórfico	– Lençol freático elevado na maior parte do ano, na maioria dos anos
Hidro-Hiperespesso	– Lençol freático elevado e B espódico a profundidade superior a 200cm
Hiperespesso	– Horizonte espódico a profundidade superior a 200cm
Húmico, Hístico	– Horizonte A húmico e horizonte hístico
Lítico	– Contato lítico dentro de 50cm da superfície
Litoplíntico	– Horizonte litoplíntico
Órtico	– Quando empregado, se refere a todos os demais solos não distinguidos nas classes precedentes
Pálico	– A + B (exceto BC) > 80cm
Psamítico	– Textura arenosa
Sálico	– Caráter sálico
Saprolítico	– Presença de C ou Cr dentro de 100cm e sem ocorrência de contato lítico dentro de 200cm da superfície
Sódico	– Caráter sódico

Fonte: IBGE, 2007

4º Nível – Subgrupos

Quadro C4 – Quadro dos principais termos do quarto nível segundo o SiBCS.

Nomenclatura	Características associadas
Abrúptico	– Mudança textural abrupta
Antropogênico	– Solos afetados por atividade antrópica
Arênico	– Textura arenosa
Argissólico	– B textural e/ou relação textural e cerosidade
Cambissólico	– B incipiente ou características de desenvolvimento incipiente
Carbonático	– Caráter carbonático ou horizonte cálcico
Chernossólico, Húmico, Antrópico, Úmbrico	– Tipos de horizonte A
Dúrico	– Ortstein, duripã
Êndico	– Horizonte concrecionário ou litoplíntico ocorrendo na parte interna do solo
Epiáquico	– Caráter epiáquico
Espessarênico	– Textura arenosa x profundidade
Espesso	– Profundidade de A + E
Espódico	– B textural com acúmulo iluvial de carbono orgânico e alumínio com ou sem ferro, insuficiente para B espódico
Êutrico	– pH e S altos
Fragmentário	– Contato lítico fragmentário
Fragipânico	– Presença de fragipã
Gleissólico	– Horizonte glei ou mosqueados de oxidação e redução
Latossólico	– Horizonte B latossólico, características latossólicas
Léptico	– Contato lítico entre 50 e 100cm
Lítico	– Contato lítico < 50cm da superfície
Luvissólico	– B textural Ta
Neofluvissólico	– Caráter flúvico
Nitossólico	– B nítico e/ou características intermediárias para Nitossolos
Organossólico	– Horizonte hístico < 40cm
Petroplíntico	– Caráter ou horizonte concrecionário e caráter ou horizonte litoplíntico
Plácico	– Horizonte plácico

(continua)

(término)

Nomenclatura	Características associadas
Planossólico	– B textural com mudança textural abrupta e sem cores para B plânico ou, B plânico em posição não diagnóstica para Planossolos
Plíntico	– Caráter ou horizonte plíntico
Psamítico	– Textura arenosa
Rúbrico	– Caráter rúbrico
Sálico	– Caráter sálico
Salino	– Caráter salino
Saprolítico	– Horizonte C ou Cr dentro de 100cm e sem contato lítico dentro de 200cm da superfície
Sódico	– Caráter sódico
Solódico	– Caráter solódico
Térrico	– Material mineral (A ou Cg) dentro de 100cm da superfície
Tiônico	– Horizonte sulfúrico ou material sulfídrico
Típico	– Empregado para a classe que não apresenta características extraordinárias ou intermediárias para outras classes. Representa o conceito central
Vertissólico	– Horizonte vértico – caráter vértico.

Fonte: IBGE, 2007

ANEXO D - Pluviosidade da cidade de Ituporanga segundo a EPAGRI.

Quadro D1 – Pluviosidade da cidade de Ituporanga-SC/2008.

Pluviosidade do Ano de 2008 na cidade de Ituporanga - EPAGRI												
Dia / Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	5,0	10,8	44,9	0	0	1,0	0	2,7	0	3,4	0	2,7
2	1,2	2,0	0	0	12,0	0	0	17	0	40,2	19,6	0
3	12,0	0	27,8	5,8	42,1	1,0	3,1	0	0	0	4,6	8,1
4	37,0	0	0,4	0	0	21,0	6,8	0	0	35,3	0,3	0
5	20,3	0	0	0	0	0	0	0	0	21,3	0	13,2
6	0	0	0	0	0	0	0	0	38,2	0	0	17,8
7	4,4	0	0	0	0	4,6	0	11,2	1,8	0	14,6	0
8	0	1,4	0	0	0	0	0	3,6	0	0	0	0
9	0,2	0	0	0	0	0	8	5	19,2	0	0	0
10	0	1,2	0	0	0	2,8	0	7	0,6	0	17,0	0
11	0	25,2	0	3,2	0	0	0	2,4	2,2	0,2	10,7	0,2
12	16,0	26,2	2	12,8	0	22,4	0	0	33,2	13,8	40,2	0,2
13	0	0	6,5	0	0	0	0	9,8	36,6	0	12,9	6
14	0	0	0	10,5	0	15,2	0	0,5	0	7,4	1,4	0
15	0	0	0,1	0,8	0	0	0	4,4	0	2,6	0	0
16	0	0	0	17,6	0	0	0	0	0	18,1	3,2	0
17	1,0	26,2	3,4	7,0	0	0	0	0	0	57,5	8	0
18	2,8	6,1	1,0	0,8	0	0	0	0	0	32,0	0	0
19	35,8	0	0	0	0	0	0	0	0	11,6	0	10
20	3,5	0	0	19,2	0	0	0	0	0	0	4,2	6,6
21	0	5,6	7,0	46,9	0	15,8	0	0	13,6	1,4	4,8	12,2
22	0	0	18,4	0	0	0	0	25,2	0	0	3,4	0
23	0	0	2,0	0	0	0	1,3	2,2	0	16,6	24,6	0
24	0	2,6	1,5	0	0	0	11,4	0,2	0	36,8	6,8	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,1	0,2	32
26	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2	25,1	1,9	0
27	0	2	0	0,6	0	29,8	0	0	0,4	17,7	5,3	0
28	0	0,4	4,4	9,0	0,1	9,6	0	0	5,5	0	3,0	0
29	2,0	3,2	7,0	24,2	0	19,8	0	0	1,1	32,6	0,8	0
30	2,6	*	0	1,6	13,8	0	0	0	8,4	9,8	0	0
31	62,2	*	0	*	0	*	4,2	0	*	0	*	0
Total	206,0	112,9	126,4	160,0	68,0	143,0	34,8	91,2	162	389,5	187,5	109,0
Média	6,65	3,89	4,08	5,33	2,19	4,77	1,12	2,94	5,23	12,56	6,05	3,5

Quadro D2 - Pluviosidade da cidade de Ituporanga-SC/2009.

Pluviosidade do Ano de 2009 da cidade de Ituporanga - EPAGRI												
Dia / Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	5,4	0	0	0	0	0	*	*	*	*	*	*
2	16,2	0,0	1,8	0	0	0	*	*	*	*	*	*
3	30,4	0	7,2	0	0	0	*	*	*	*	*	*
4	5,6	4,4	0	0	0	0	*	*	*	*	*	*
5	2,2	5,1	0	0	0	0	*	*	*	*	*	*
6	0	0	0	1,4	0	0	*	*	*	*	*	*
7	0	3,8	0	0	0	0	*	*	*	*	*	*
8	0	0,5	103,8	18,2	0	0	*	*	*	*	*	*
9	0	0,6	0	0	3,8	0	*	*	*	*	*	*
10	22,2	11,2	3,4	0	0	0	*	*	*	*	*	*
11	20,8	0	0	0	0	0	*	*	*	*	*	*
12	2,4	0	3,8	0	0,2	0	*	*	*	*	*	*
13	0	0	0	0	0,8	0	*	*	*	*	*	*
14	2	0	0	0	17,2	0	*	*	*	*	*	*
15	0	0	0	0	5,0	0	*	*	*	*	*	*
16	0	0	4,8	0	0	13,8	*	*	*	*	*	*
17	14,8	22,2	0	0,0	0	11,4	*	*	*	*	*	*
18	6,4	15,3	6,5	0	0	0	*	*	*	*	*	*
19	2,0	0	0	0	1,6	0	*	*	*	*	*	*
20	2,0	0	0	0	0	0	*	*	*	*	*	*
21	0	8,2	0,0	1,6	0	0	*	*	*	*	*	*
22	0	18,8	0	16	0	0	*	*	*	*	*	*
23	0	17	0,0	50,2	0	0	*	*	*	*	*	*
24	0	14,7	0,2	0	0	1	*	*	*	*	*	*
25	0	7,4	4,3	0	1,2	6,6	*	*	*	*	*	*
26	0	2	1,8	0	0	0	*	*	*	*	*	*
27	0,8	0,2	0,4	0	0,2	2,6	*	*	*	*	*	*
28	0,8	0,8	2,1	0,0	17,0	8,4	*	*	*	*	*	*
29	0,3	0	0,0	0	0	0	*	*	*	*	*	*
30	6,2	*	0	0	4,9	12,2	*	*	*	*	*	*
31	0,0	*	0	*	13,8	*	*	*	*	*	*	*
Total	140,0	132,2	140,1	87,4	65,7	56,0	*	*	*	*	*	*
Média	4,52	4,56	4,52	2,91	2,11	2,0	*	*	*	*	*	*

ANEXO E – Concepção básica de tanques e viveiros de piscicultura, segundo a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2009).

Tanques e viveiros de piscicultura

Viveiro de piscicultura é um reservatório escavado em terreno natural, dotado de sistemas de abastecimento e de drenagem de água de tal modo que o permita encher ou secar no menor espaço de tempo possível. Ele pode ser parcial ou totalmente elevado acima do terreno natural, mediante o erguimento de diques ou barragens.

O tanque tem estrutura semelhante ao viveiro, sendo, contudo, revestido com alvenaria de pedra ou tijolo ou em concreto.

Existem grandes diversidades de tanques e viveiros de piscicultura, conforme suas finalidades (manutenção de reprodutores, preparo de reprodutores, acasalamento, criação de pós-larvas e de alevinos, engorda etc.). No entanto, estruturalmente os viveiros se dividem em dois tipos:

Viveiro de barragem - Construído no fundo de um vale por onde corre um pequeno curso de água (córrego ou olho d'água), mediante o erguimento de uma pequena barragem ou dique. No Nordeste do Brasil estes viveiros necessitam, quase sempre, receber suprimentos de água, oriunda de um açude, rio etc., no período seco. Isto porque sua alimentação de água é feita por uma ou várias nascentes, um lençol freático ou um curso de água, cujo caudal recebe em sua totalidade, sem possibilidade de controle (BARD et alii, 1974);e

Viveiro de derivação - escavado ou elevado no terreno natural, sendo abastecido por derivação da água a partir de uma nascente, de um curso de água principal, de um canal de irrigação etc; de uma represa ou açude (mediante o uso de sifão, galeria etc.), sendo a água conduzida através de canais abertos ou tubulados ou, finalmente, por bombeamento a partir de um curso de água ou de um reservatório. Deste modo, a entrada e saída de água do mesmo são controladas.

O tanque é uma estrutura menor que o viveiro, sendo sempre de derivação.

Escolha do local para construção de tanques e viveiros de piscicultura

Na escolha do local para a construção de tanques e viveiros de piscicultura deve-se levar em conta dois aspectos: a água para abastecê-los e existência de terreno adequado.

A água para abastecimento de tanques e viveiros de piscicultura.

A água para abastecimento de tanques e viveiros de piscicultura deve ser examinada sob os aspectos quali-quantitativos.

a) Qualidade da água

No exame da qualidade da água deve-se levar em conta suas características físicas e químicas. Entre as primeiras, as mais importantes são:

Temperatura: Tem grande influência sobre a reprodução, sobrevivência e crescimento dos peixes, bem como sobre a produtividade natural das águas, ou seja, a produção dos alimentos naturais para os peixes. Ela deve se manter dentro dos limites compatíveis com a vida normal da(s) espécie(s) criada(s). Lembra-se que dentro desses limites quanto mais alta a temperatura maior a produtividade natural e, conseqüentemente, maior a produção de peixe. No entanto, temperaturas baixas ou muito elevadas influenciam negativamente na alimentação dos peixes. Estes limites máximos e mínimos, bem como suas variações, são atenuados nas partes mais profundas dos viveiros.

As temperaturas das águas nos tanques e viveiros de piscicultura devem ser medidas na superfície e no fundo, usando-se termômetro de imersão com escala de 0 a 50°C. A água de fundo é retirada com um frasco com tampa, o qual é destampado quando atinge a profundidade desejada. Então, o mesmo é levado rapidamente para a superfície e a temperatura da água em seu interior medida.

Transparência e a cor: A luz é um dos fatores mais importantes para a produtividade dos tanques e viveiros de piscicultura, pois os seres produtores da matéria orgânica na água (fitoplâncton, bactérias fotossintéticas e macrófitas aquáticas) utilizam a energia luminosa na fotossíntese.

Deste modo, quanto mais transparente é a água maior será a penetração da luz e, conseqüentemente, mais espessa será a coluna onde se processará a produção orgânica.

As águas turvas, isto é, que contêm argilas ou outros materiais em suspensão, não são favoráveis ao cultivo de peixes, principalmente, larvas, pós-larvas e alevinos, pois a argila adere as suas guelras, impedindo as trocas gasosas, podendo até matá-los. Portanto, deve-se evitar abastecer tanques e viveiros com águas de cores vermelha, amarela ou cinzenta, bem como, impedir que pessoas e animais penetrem nos viveiros, pois causam turbidez da água.

As águas negras ou escuras das florestas ou aquelas alaranjadas de ambientes ricos de matéria orgânica em decomposição não são boas para o abastecimento de tanques e viveiros, vez que são geralmente ácidas ($\text{pH} < 7,0$) e trazem gases tóxicos (sulfídrico, metano, amônia etc.), além de não permitirem boa penetração de luz e possuírem baixos teores de oxigênio dissolvido, necessário para respiração dos peixes.

As melhores águas para abastecer tanques e viveiros de piscicultura são as claras, ligeiramente azuladas ou esverdeadas. Quando estas instalações são bem adubadas, suas águas apresentam cor verde escura sinal de boa produtividade orgânica, pois reflete a grande incidência de algas clorofíceas nas mesmas.

A transparência da água pode ser medida com o disco de SECCHI, que é um disco metálico, com mais ou menos 0,25 m de diâmetro, contendo quatro faixas brancas e pretas, alternadamente, sendo o mesmo mergulhado na água, com o auxílio de um cabo de náilon de 3/16", até que não seja mais visto. Mede-se então, no cabinho, a profundidade em que se extinguiu a luz na coluna d'água. A transparência da água dos viveiros deve ser menor do que 0,30 m.

As características químicas das águas para abastecimento de tanques e viveiros de piscicultura são importantes: Poucas águas não podem ser utilizadas para tal, mas a produção dos alimentos naturais para os peixes está ligada a sua qualidade. Torna-se necessária a presença do nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre e ferro, assim como dos chamados oligoelementos (boro, manganês, cobre e zinco). É em contato com o solo que a água se enriquece pela dissolução dos sais que nele se encontram. Deste modo, quanto mais rico o solo em minerais mais rica será a água.

Lembra-se, contudo, que parte desses sais pode provir das decomposições orgânicas dos animais e vegetais mortos no viveiro ou, ainda, serem colocados através dos adubos.

Pode-se apreciar a qualidade de uma água medindo-se o seu pH. Este deve ser neutro ou ligeiramente alcalino. Valores inferiores a 5 e superiores a 9 são indícios de água não recomendável para a piscicultura.

Outros indicadores da qualidade da água para a criação de peixes são dados pela sua dureza e alcalinidade. Águas com dureza acima de 15 mg/l em seu equivalente em CaCO_3 e com alcalinidade superior a 40 mg/l também em seu equivalente em CaCO_3 são boas para aquele fim. Torna-se necessário, ainda, a presença de gases dissolvidos na água, principalmente o oxigênio, imprescindível à respiração dos peixes, e o gás carbônico, essencial à fotossíntese.

No entanto, gases oriundos da decomposição da matéria orgânica (sulfídrico, amônia, metano etc.) são tóxicos e fatores de depleção na taxa do oxigênio dissolvido. Nesta situação, as águas exalam mau cheiro. Deve-se, pois, evitar o acúmulo de matéria orgânica nos viveiros. De uma maneira geral, as águas poluídas por esgotos industriais e/ou domésticos e por defensivos agrícolas não se prestam para a piscicultura. Na análise química de uma água destinada a piscicultura torna-se necessárias as seguintes determinações, com respectivas indicações dos níveis desejados (Tabela E1):

Tabela E1 – Parâmetros básicos de uma água destinada a piscicultura.

Parâmetros	Níveis Desejados
pH	5 - 9
Alcalinidade	40 – 200 mg/L CaCO ₃
Dureza	Acima de 15 mg/L CaCO ₃
O ₂ dissolvido	Acima de 4 mg/L
CO ₂ Livre	Abaixo de 20 mg/L
Amônia	Abaixo de 5 mg/L
Gás Sulfídrico	Abaixo de 1 mg/L
Metano	Abaixo de 0,5 mg/L
Ferro	Abaixo de 1 mg/L
Alumínio	Abaixo de 0,5 mg/L
Presença de nitratos, fosfatos, carbonatos e sulfatos	

Fonte: FAO, 2009

b) Quantidade de água

A piscicultura necessita de água para encher tanques e viveiros e compensar as perdas por evaporação e infiltração. Esta praticamente não ocorre nos tanques, por serem revestidos em alvenaria.

A água necessária para encher um viveiro depende da capacidade de acumulação deste, que, por sua vez, é calculada com base em sua área e profundidade média. Quando ele possui área de 1 ha e profundidade média de 1 m são necessários 10.000 m³ de água para enchê-lo. Isto, contudo, deve ocorrer em curto espaço de tempo, sendo recomendável que não seja superior a 72 horas. Neste limite, a vazão necessária de água para abastecimento será de 38,6l/s (10.000.000 l divididos por 259.200 s).

Após cheio o viveiro, nele só deve colocar água para compensar as perdas por evaporação e percolação. Salvo se houver depleção na taxa de oxigênio dissolvido na água. Caso isto ocorra, far-se-á renovação dela.

As perdas por evaporação dependem dos fatores climáticos, normalmente temperatura, insolação, umidade do ar, ventos etc. Nas regiões tropicais podem chegar a 25 mm/dia. Isto origina uma demanda diária de água da ordem de 250 m³/ha, ou seja, uma vazão de 2,9 l/s de água por ha (250.000 l divididos por 86.400 s).

É difícil calcular com exatidão as perdas de água por infiltração, pois as mesmas dependem da idade dos viveiros (os novos perdem mais água), das técnicas de construção deles (os impermeabilizados com terra argilosa compactada têm as perdas sensivelmente diminuídas), da natureza dos solos (os argilosos possuem baixa percolação) e a posição de seus pisos com relação ao lençol freático (quanto menor o espaço que os separa menor a infiltração). Com boa margem de segurança pode-se considerar uma perda média de 1 mm/dia de lâmina de água por infiltração. Isto requer reposição de 10 m³/ha/dia, ou seja, uma vazão de 0,1 l/s de água por ha (10.000 l divididos por 86.400 s).

Desse modo, nas regiões tropicais mais críticas, com lâmina de evaporação da ordem de 25 mm/dia, serão necessários 104.900 m³/ha/ano de água para encher uma vez o viveiro (10.000 m³) e compensar as perdas por evaporação (91.250 m³) e por percolação (3.650 m³).

No litoral nordestino, com lâmina de evaporação média em torno de 7 mm/dia, necessitar-se-ia de 70 m³/dia/ha de água, ou seja, 25.550 m³/ano/ha. Aqui, o volume requerido para abastecer uma vez um viveiro de 1 ha e compensar as perdas por evaporação e infiltração será de 39.200 m³/ano.

Além do volume mínimo necessário, há que se obter informações sobre o volume máximo de água que passa em um determinado terreno onde se vai construir viveiros de piscicultura. Isto por dois motivos, primeiro para se calcular o sangradouro ou vertedouro dos viveiros de barragem e segundo para se evitar inundação da área dos viveiros de derivação.

O volume máximo de água que passa num dado trecho de um vale, no fundo do qual corre um curso d'água, pode ser calculado através de: (a) conhecimento da área da bacia hidrográfica do curso de água, acima do local de medição, e da altura máxima de precipitação pluvial, obtida

através de séries históricas de dados, coletados pelas estações meteorológicas: volume (m³) = área (m²) × altura da maior precipitação (m); (b) informações colhidas junto às populações ribeirinhas, que podem indicar as marcas das cheias seculares; (c) verificação das marcas deixadas pelas grandes enchentes em pilares de pontes, pedras, árvores etc.; (d) limnômetro, aparelho que mede a velocidade da água de um rio, riacho etc.; e (e) secções imersas de forma regular.

Terreno para construção de tanques e viveiros de piscicultura

Na escolha do terreno para construção de tanques e viveiros de piscicultura, levamos em consideração suas características químicas, isto é, sua composição química, e físicas, compreendendo sua natureza e forma.

a) Características químicas do terreno

Conforme referimos antes, é do solo que a água retira os minerais necessários a produtividade primária, isto é, a alimentação do fitoplâncton, das macrófitas aquáticas e das bactérias fotossintéticas. Portanto, a riqueza das águas dos viveiros depende dos minerais presentes nos solos onde eles estão assentados.

As águas que escorrem em campos e savanas são melhores do que as de floresta. No entanto, as primeiras podem ter bastante argila em suspensão, ou seja, serem turvas. Na análise dos solos torna-se necessário conhecer: pH; dureza; alcalinidade e teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, enxofre, ferro e alumínio. Estes dois últimos quando em doses elevadas inviabilizam o uso de um solo para a construção de viveiros de piscicultura.

b) Características físicas do terreno

Textura; profundidade e estrutura do solo

Um dos fatores importantes a considerar é a textura dos solos. Os argilosos são os mais indicados, em virtude do elevado grau de impermeabilidade e de serem ricos em minerais, quase sempre. Os arenosos não se prestam para viveiros, pois são pobres e não retêm água; neles podem ser construídos tanques. Solos sílico-argilosos, isto é, formados por areias contendo cerca de 25% de argila, podem ser utilizados, contudo necessitam receber camada(s) compactada(s) de piçarra (terra argilosa), a fim de reterem água. Os pedregosos também não podem ser utilizados para construção de viveiros.

Outro fator a considerar é a profundidade do solo, pois as vezes torna-se necessário escavar os viveiros em terreno natural, alcançando-se profundidades de 2,00 m ou pouco mais. A estrutura do solo também deve ser considerada, podendo acontecer que, além de ser raso, ele apresente, próximo a superfície, rochas com fraturas. Isto provoca enormes perdas de água por percolação, mesmo sendo os viveiros elevados sobre o terreno.

Para se estudar textura, profundidade e estrutura de um solo, escava-se uma trincheira (buraco) no mesmo ou usa-se um trado pedológico, instrumento que funciona como saca-rolha, retirando as diversas camadas do solo.

Forma, relevo ou topografia

A topografia do terreno é um dos principais fatores a considerar na escolha do local para construção de tanques ou viveiros de piscicultura. Ela indica: (1°) se é possível construir tanques e viveiros; (2°) tipo de viveiro (barragem ou derivação); (3°) superfície dos viveiros; (4°) forma dos viveiros; (5°) profundidade dos viveiros e (6°) número de viveiros a construir. Isto porque nos viveiros de derivação há que se levar água a uma altura tal que eles possam ser abastecidos e esvaziados por gravidade, qualquer que seja o nível da água no dreno natural. Nos de barragem não se deve construir diques muito compridos nem muito altos.

Na prática observa-se os declives ao longo do curso de água, corre no fundo de um vale, e o perfil transversal deste. Terrenos com forte declive ao longo do curso de água e forte declive transversal do vale não se prestam para construção de viveiros. Os de derivação ficam impossibilitados de serem construídos e os de barragem necessitariam de diques muito altos, para formar pequenas bacias de acumulação. Quando, porém, o declive transversal do vale é fraco, torna o terreno ideal para construção de viveiros de derivação, pois eles são facilmente abastecidos e esvaziados por gravidade. Nestas condições os de barragem não podem ser construídos, pois necessitariam de diques muito cumpridos, ficando os viveiros geralmente rasos.

Quando o terreno apresenta fraco declive ao longo do curso de água e forte declive transversal do vale, desde que não muito pronunciado, poderão ser construídos viveiros de barragem, ficando impossibilitados os de derivação. Contudo, quando o declive transversal do vale também é fraco, não se pode construir viveiros de barragem e tão somente os de derivação. No entanto, estes ficam, quase sempre, caros, pois podem necessitar de longos canais de abastecimento, em virtude da captação de água ser feita na parte mais alta do curso d'água. Quase sempre os canais caminham sobre aterros. A não ser que se faça bombeamento d'água, o que envolve gastos com bombas e energia elétrica ou combustíveis.

Para melhor se projetar tanques e viveiros, há que se fazer o levantamento plani-altimétrico do terreno, em curvas de níveis de 0,50 em 0,50 m ou de 1,00 em 1,00 m, desenhando a respectiva planta nas escalas de 1:500 ou de 1:1.000. Nela devem constar cercas, edificações, estradas, linhas de transmissão de energia e, principalmente, as fontes fornecedoras de água para tanques e viveiros (rios, riachos, açudes, represas, poços etc.), com cotas dos coroamentos das barragens, soleiras de sangradouros, espelho d'água, fundo dos reservatórios, mananciais etc. Isto para que se possa planejar os sistemas de captação de água e de esvaziamento dos tanques e viveiros.

De posse desse levantamento, projeta-se os viveiros, definindo-se o tipo deles (derivação ou barragem), conforme a topografia do terreno; o número, forma, dimensões, profundidade e cotas de chegada de água e do ponto de esvaziamento dos mesmos. Tanto quanto possível, deve-se evitar bombeamentos de água.