

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Gustavo de Souza Martins

O Problema das águas subterrâneas em Tanahbala: o papel do engenheiro

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Eurípedes do Amaral Vargas Junior
Co-orientador: Prof. Ernani de Souza Costa

Rio de Janeiro

Agosto de 2013



Gustavo de Souza Martins

O Problema das águas subterrâneas em Tanahbala: o papel do engenheiro

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Eurípedes do Amaral Vargas Junior
Presidente / Orientador
Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Antonio Roberto Martins Barboza de Oliveira
PUC-Rio

Raquel Quadros Velloso
PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial de Pós-Graduação
do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 26 de agosto de 2013.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Gustavo de Souza Martins

Graduou-se em Engenharia Civil pela PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro) em 2003.

Ficha Catalográfica

Martins, Gustavo de Souza

O problema das águas subterrâneas em Tanahbala: o papel do engenheiro / Gustavo de Souza Martins; orientador: Eurípedes do Amaral Vargas Júnior; co-orientador: Ernani de Souza Costa.

88 f.; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil – Teses. 2. Água. 3. Indonésia, Tanahbala. I. Vargas Junior, Eurípedes do Amaral. II. Costa, Ernani de Souza. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

Aos meus pais José Augusto e Nádia, que incentivaram minha formação pessoal e acadêmica, sustentando a importância de investir em educação.

À minha irmã Carolina, aos familiares e aos amigos pela ausência em momentos importantes, enquanto me dedicava às aulas e à elaboração desta dissertação.

Agradecimentos

Agradeço aos amigos surfistas Mario e Paulo por me receberem na ilha da Tanahbala, proporcionando momentos divertidos e motivando a elaboração desta dissertação.

Ao médico e amigo Ricardo pela companhia ao embarcar comigo nessa aventura, explorando lugares desconhecidos e muito distantes, inclusive os complicados e precários meios de transporte que nos levaram até a ilha.

Aos moradores da vila que abriram suas portas, revelando suas carências e proporcionando um genuíno aprendizado cultural e pessoal.

Às amigas Erika, Julia e Raquel. Aos professores Ernani e Vargas, que colaboraram durante a construção deste trabalho de dissertação.

Resumo

Martins, Gustavo de Souza; Vargas Júnior, Eurípides do Amaral (Orientador); Costa, Ernani de Souza (Co-orientador). **O Problema das Águas Subterrâneas em Tanahbala: O Papel do Engenheiro.** Rio de Janeiro, 2013, 88p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A água potável não existe mais em abundância. É preocupante verificar que o desperdício e a contaminação dos recursos hídricos ainda sejam práticas recorrentes, mesmo diante de evidências pessimistas acerca de sua disponibilidade, como observado no local escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa. Portanto, este trabalho tem como objetivo apresentar soluções para evitar a contaminação do sistema de abastecimento, recomendar equipamentos de saneamento, sugerir um esquema de drenagem que não favoreça a proliferação de vetores de doenças, propor uma estratégia para o manejo adequado dos animais domésticos e garantir o fornecimento de água verdadeiramente potável na vila de Tanahbala, na Indonésia. O desenho metodológico está alinhado aos pressupostos da pesquisa exploratória, com a apresentação do diagnóstico local, para posterior análise quantitativa por meio da aplicação de um *software* de modelagem matemática, denominado *Modflow* 2000, versão 4.2.0.1.5.1. A ferramenta foi utilizada para visualizar o fluxo dos contaminantes no lençol freático e estimar a concentração dessas substâncias na fonte de abastecimento da vila, para posterior apresentação das sugestões de melhoria. Como resultado do diagnóstico local e dos níveis numéricos de contaminação, foi possível observar que as causas desses problemas estavam ligadas ao esgoto doméstico, à criação desordenada de animais e à proximidade de um cemitério. Sugeriu-se então algumas soluções como a realocação dos poços para captação de água, a construção de cisternas para captar água da chuva, a utilização de *liners* e de uma camada de geomembrana, o manejo dos dejetos da criação de animais, drenagem e soluções de saneamento.

Palavras-chave

Recursos hídricos; Tanahbala; fluxo de contaminantes; soluções de saneamento.

Extended Abstract

Martins, Gustavo de Souza; Vargas Júnior, Eurípides do Amaral; Costa, Ernani de Souza. **Groundwater Problem in Tanahbala: The Role of the Engineer.** Rio de Janeiro, 2013, 88p. MSc Dissertation - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

1. INTRODUCTION

Potable water has become increasingly scarce. It is no longer an infinitely renewable resource as we once thought it was. However, it is not unusual to see hydric resources being wasted or contaminated – despite all the pessimistic forecasts regarding its availability for the future generations. Actually, lack of water is not a far-fetched problem anymore. Around 1.6 billion people rely on insufficient hydric resources. By 2020, this number will double: there will be about 3 billion people with insufficient access to drinking water (Boff, 2005).

The central theme of the present research deals with the problems provoked by an inefficient management of hydric resources. Its aim is to provide alternatives for managing water in the small and remote village of Tanahbala, in Indonesia. In this distant town, solutions which might be feasible elsewhere do not always prove to be possible.

In order to provide potable water for the villagers in Tanahbala, it is crucial to overcome three main obstacles: 1) the inappropriate disposal of domestic sewage; 2) the lack of livestock management; and 3) the contamination provoked by a neighboring cemetery. So as to address these problems, the present study has pointed out a few measures, such as the replacement of water wells, the construction of tanks for catching and storing rainwater, the use of liners and a layer of geomembrane, the appropriate management of the animals' excrement, as well as many other sanitary solutions. All these recommendations attempt to meet the village's needs without requiring a sophisticated infrastructure – which is not within the villagers' reach at the present time.

2. THEORETICAL FRAMEWORK

2.1 WATER DISTRIBUTION IN INDONESIA: ITS THREATS AND NEEDS

According to data from the World Health Organization (WHO) and UNICEF (2004), 1.1 billion people around the world do not have access to pure water. In the meantime, 2.6 billions do not live in areas with adequate sewage. Tanahbala, the place studied in this research, is just one more item in the apparently endless list of locations deprived from essential resources such as water.

The troublesome water distribution and sewage treatment has a significant impact on mortality rates. All over the world, from four to six thousand children die everyday because of diseases associated to the lack of potable water or inadequate sewage treatment (WSSCC, 2011).

In Indonesia, an impressive number of people live below the poverty line. In these lower social layers, the lack of potable water remains the most prominent health problem. The reasons behind this problem are the geographic aspects of Indonesia and the precariousness of the infrastructure used to distribute water. Quite differently from continental areas, Indonesia does not have the means to create a centralized water distribution system. Formed by thousands of islands, the country has to delegate to each one of them the management and the treatment of hydric resources. This is the reason why the population of Indonesia has suffered from a number of diarrheic diseases caused by contaminated water. No wonder diarrhea is still ranked among the ten main causes of deaths in Indonesia (WHO/UNICEF, 2004). In fact, chronic infectious diarrhea has been detected in 66.7% of the population.

Based on this information, it is unavoidable to come to the conclusion that both, the treatment and the distribution of water in Indonesia, are quite far from the minimum security standards. Hence, it is clearly urgent to develop strategies to meet the population's needs, especially in the most distant islands, where potable water is still a far-fetched dream.

In Indonesia, underground water is normally good from a microbiological viewpoint. The problem is that it is easily contaminated due to the emission of pollutants from homes, factories, plantations and even cemeteries. The present research focuses on specific types of water pollution: the contamination provoked by cemeteries, livestock and domestic sewage.

3. METHODOLOGY

The first part of this research has been developed by means of observing the region and collecting documents on the governmental database, so that the local characteristics could be thoroughly understood. The methodological design adopted, therefore, is in line with what is called exploratory research.

In the engineering field, exploratory research is particularly useful when it is necessary to estimate the feasibility and the costs of a given project. The scope of the present research is precisely that: the aim is to provide a solid ground for the development of future research that might work on a more definite solution for the hydric resources in Tanahbala.

First, this research presents a diagnosis of the local situation. Afterwards, a quantitative analysis is carried out with the help of a mathematical modeling software called *Modflow 2000*, version 4.2.0.1.5.1. This tool has been used to visualize the flow of contaminants in the underground water, as well as to estimate the concentration of substances in the water supply used by those who inhabit Tanahbala. In the end, this study recommends some improvements, without disregarding the limited resources and the precarious infrastructure available in the village.

4. ANALYSIS

The inappropriate location of the cemetery and the careless management of livestock are not the only threats to the quality of the soil and the water in Tanahbala. The population is also used to bathing in public water sources, which certainly worsens the contamination problem. Raw sewage and animals surround the village, forming a single nucleus of contamination. The cemetery is on the left

side of the entrance of the village. In addition to that, the well that supplies water to Tanahbala is dangerously close to the contaminated areas.

Occasional earthquakes and tsunamis add chaos to a situation which is already quite precarious. In 2004, Indonesia was hit by a devastating tsunami, whose tragic effects were also felt in Tanahbala.

4.1 LIVING WITH THE DEAD

A great part of the village lies on a type of soil that is mostly sandy, favoring the penetration of pollutants, due to its high permeability level. This characteristic increases considerably the risks of underground water contamination. The toxic fluids that come from the decomposition of corpses are the main cause of environmental pollution provoked by cemeteries. The crucial challenge is to stop them fluid from infiltrating into the soil and contaminating underground water.

Liners are layers of low permeability formed by natural, artificial or a combination of both materials. The objective of these layers is to protect a given area from the infiltration of harmful fluids. One of its essential features is also the capacity of removing impurities.

The use of liners is very common in sandy soils, where their efficiency is out of question. When used in this type of soil, the liners manage to reduce significantly the permeability level. Moreover, it is a low cost alternative, since it does not require the employment of higher technologies. The combination of these characteristics seems to point out the use of liners as the ideal option for protecting the inhabitants of Tanahbala against the hazardous substances that come from the cemetery.

Geomembranes may also be an important ally. They are impermeable synthetic barriers, quite resistant from a physical and chemical point of view, and with low hydraulic conductivity. They are commonly used to stop leachate from migrating into the soil or underground water. Because they are susceptible to flaws, geomembranes should not be the only mechanism of protection. It is fundamental to rely on a more complete system of isolation. Taking into account the peculiarities of the Indonesian context, the present research recommends the use of a geomembrane and a liner formed by soil, cement and quicklime.

4.2 TREATING DOMESTIC SEWAGE

Domestic sewage contains pathogens that cause several diseases, such as typhoid, infectious diarrhea and amebiasis. In Tanahbala, sewage is generally left on the soil, contributing to the dissemination of a wide variety of diseases. Besides, both superficial and underground water quality tends to be altered by this kind of contamination. The main consequences are a change in the color and in the smell of water, as well as a considerable reduction in the concentration of oxygen. The water pollution triggered by the lack of adequate sewage treatment is also harmful for the local environment, putting at stake the survival of animals and vegetation in the Indonesian village.

The position of the wells in relation to the main points where contamination by sewage happens is also a fundamental aspect. In Tanahbala, the wells that provide drinking water for the houses are dangerously located downstream in relation to the places where contamination occurs. The solution is

quite simple: repositioning these wells and placing them upstream is an essential step in order to improve the quality of the water available to the villagers.

In addition, it is essential to construct a septic tank where sewage can be disposed and decomposed by anaerobic bacteria. The present research has used the Brazilian standards to suggest the measures for the Indonesian septic tank. However, in further studies, it is important to use local data to design the ideal system for the villagers in Tanahbala.

4.3 USING RAIN AS AN ALLY

Placing tanks to catch and store rainwater is an intelligent and inexpensive measure. With the high rainfall rates in Indonesia, this option seems to be very promising. As long as these tanks remain protected, the water stored by them is harmless. The choice of the material for the tank is also relevant. Cement lasts longer. However, if it is difficult to transport this material to Tanahbala, plastic tanks might be a better option.

4.4 TURNING LIVESTOCK ORDURE INTO A COMMODITY

The construction of dungyards seems to be the most appropriate option for the population in Tanahbala. Besides presenting low costs, they are easily managed. The excrement kept in these dungyards remains there for 120 days. Throughout this period, organic matter becomes stable and the pathogens in it are deactivated.

Composting is also a worthwhile alternative; after all, this process is able to reduce the bad smell and the proliferation of hazardous microorganisms. On top of that, composting turns useless ordure into a valuable commodity: manure, which is quite useful as a fertilizer. The main challenges regarding the use of composting have to do with handling three variables – humidity, aeration and temperature.

4.5 BUILDING A DRAINING SYSTEM

The creation of an efficient draining system is essential and challenging at the same time. The first difficulty has to do with handling the rainwater that accumulates on the ground. When the draining system does not work properly, the population suffers from a number of problems, such as floods and diseases related to the uncontrolled accumulation of water: diarrhea, typhoid, leptospirosis and malaria are some of the illnesses that become widespread once draining is not efficient. In addition, humid soils provide a longer life for microorganisms.

Thus, draining is an important tool when it comes to reducing the contamination of the soil by pathogens. In Tanahbala, specifically, it is recommended to adopt a microdraining system that combines three modalities: superficial, underground and vertical.

4.6 PROMOTING GOOD HYGIENE HABITS

Counting on appropriate equipment is not enough when the population is not aware of its environmental and sanitary responsibilities. Therefore, it is

fundamental to raise people's awareness on the importance of adopting new hygiene habits and helping protect the environment.

5. CONCLUSION

Although the scope of this research lies on a specific village, the issue the present study deals with is a contemporary and generalized one. After all, the lack of potable water around the world has threatened the lives of millions of people. Hopefully, the results described in this paper will help providing a solid basis for the development of strategies capable of assuring the access to water to every citizen, no matter where he lives or the social class he belongs to.

6. BIBLIOGRAPHY

BOFF, F.E. **Estudo da seletividade iônica na interação solo contaminante aplicado a liners**. São Carlos: EESC/USP. Seminário (Seminários Gerais em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.

UNICEF & WHO. Meeting the MDG. **Drinking water and sanitation target: a mid-term assessment of progress**. UNICEF/WHO, Geneva, Switzerland. 2004.

WSSCC **.The Campaign: WASH Facts and Figures**. Available at: www.wsscc.org/dataweb.cfm?edit_id=292&CFID=13225&CFTOKEN=7020523 3. 2004. 8 Sept. 2011.

Keywords

Hydric resources; Tanahbala; flow of contaminants; sanitary solutions.

Sumário

| | |
|--|-----------|
| 1. Introdução | 17 |
| 2. Estado da arte | 20 |
| 2.1. Indonésia: aspectos geográficos, culturais, históricos e econômicos | 20 |
| 2.1.1. Aspectos geográficos e culturais | 20 |
| 2.1.1.1. Das muitas religiões ao predomínio islâmico | 22 |
| 2.1.2. Aspectos históricos | 23 |
| 2.1.3. Aspectos econômicos | 24 |
| 2.2. Perigos e desafios relacionados à água e à estrutura de abastecimento | 25 |
| 2.2.1. Estrutura de distribuição de água: suas carências e perigos | 25 |
| 2.2.2. Patologias mais comuns na Indonésia associadas à água | 28 |
| 2.2.3. Situação atual das políticas de controle sanitário na Indonésia | 30 |
| 2.3. Principais causas da contaminação da água subterrânea | 32 |
| 3. Metodologia | 34 |
| 3.1. Escolha do contexto de pesquisa | 34 |
| 3.2. Definição da pesquisa | 35 |
| 3.2.1. Pesquisa exploratória | 35 |
| 3.3. Enfoque da pesquisa | 36 |
| 3.3.1. Modelo quantitativo | 36 |
| 4. Resultados e discussão | 37 |
| 4.1. Vila da ilha Tanahbala | 37 |
| 4.1.1. Localização geográfica, população e tipo de solo | 39 |
| 4.1.2. Clima e vegetação | 40 |
| 4.1.3. Fontes de sustento | 41 |
| 4.1.4. Aspectos culturais | 42 |
| 4.1.5. Contaminação da água por necrochorume | 43 |
| 4.1.6. Contaminação da água por esgoto | 44 |
| 4.1.6.1. Classificação dos esgotos sanitários | 45 |
| 4.1.6.2. Composição dos esgotos sanitários | 45 |
| 4.1.6.3. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) | 47 |
| 4.1.6.4. Disseminação das bactérias no solo e nas águas subterrâneas | 48 |
| 4.1.7. Contaminação da água pela criação de animais | 49 |
| 4.1.8. Dados de entrada para modelagem do fluxo contaminante | 51 |
| 4.1.8.1. Geometria | 52 |
| 4.1.8.2. Condição de contorno, vazão de efluentes e recarga | 53 |
| 4.1.8.3. Transporte e outros parâmetros | 54 |
| 4.2. Soluções da engenharia para os problemas da vila | 57 |
| 4.2.1. Poços para captação de água | 58 |
| 4.2.2. Cisternas para captação de água | 61 |
| 4.2.2.1. Cuidados com a cisterna | 62 |
| 4.2.2.2. Cálculo de um sistema de captação de água da chuva | 62 |
| 4.2.3. Isolamento do cemitério | 63 |
| 4.2.3.1. Utilização de <i>liners</i> como barreira de proteção ambiental | 66 |
| 4.2.3.2. Utilização de camada de geomembrana | 69 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.4. Manejo dos dejetos da criação de animais | 69 |
| 4.2.5. Drenagem | 70 |
| 4.2.6. Soluções de saneamento | 72 |
| 5. Conclusão | 80 |
| 6. Referências bibliográficas | 82 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Comparativo entre surtos de doenças associadas ao abastecimento de água | 26 |
| Figura 2. Vista aérea da vila | 38 |
| Figura 3. Forma de captação da água do poço | 39 |
| Figura 4. Mapa da região | 40 |
| Figura 5. Disseminação da bactéria no solo | 48 |
| Figura 6. Disseminação das bactérias em águas subterrâneas | 49 |
| Figura 7. Distribuição da espessura em camadas | 52 |
| Figura 8. Arranjo da vila | 53 |
| Figura 9. Condições de contorno | 54 |
| Figura 10. Concentração de coliformes fecais após um ano | 56 |
| Figura 11. Concentração de coliformes fecais com tratamento proposto após um ano | 57 |

Lista de Quadros

| | |
|--|----|
| Quadro 1. Tempo de vida dos diferentes tipos de microrganismos em dias | 30 |
| Quadro 2. Classificação do esgoto sanitário | 45 |
| Quadro 3. Microrganismos presentes no esgoto doméstico bruto | 46 |
| Quadro 4. Riscos de contaminação e medidas de proteção | 60 |
| Quadro 5. Demanda por água | 62 |
| Quadro 6. Doenças transmitidas pela contaminação da água e do solo | 73 |
| Quadro 7. Tipos de solo | 78 |

*A água faz parte do patrimônio do planeta.
Cada continente, cada povo, cada nação,
cada região, cada cidade, cada cidadão, é
plenamente responsável aos olhos de todos.*

Declaração Universal dos Direitos das Águas

Introdução

Quando se fala em recursos naturais, é comum dividi-los em renováveis e não renováveis. Porém, essa maneira de dividir os recursos naturais apresenta algumas fragilidades hoje em dia. Um ponto discutível é a classificação da água enquanto recurso renovável. Afinal, a água potável – própria para consumo e uso doméstico – não existe mais em abundância. Muito pelo contrário, tornou-se um bem cada vez mais escasso. Atualmente, o consumo humano dispõe de apenas 0,7% de água doce no mundo. Aos poucos, aumentou a cobiça dos países pelo controle do acesso à água potável: quem detém o poder sobre a água é capaz de decidir o futuro de milhões de pessoas.

Hoje, 1,6 bilhão de pessoas contam com recursos hídricos insuficientes para sua necessidade. Em 2020, esse número será duplicado: serão 3 bilhões de pessoas com acesso insuficiente à água potável (BOFF, 2005). De acordo com Boff (2005), a água própria para o consumo será tão preciosa que ocupará um papel semelhante àquele desempenhado pelo petróleo nos conflitos mundiais. Barbieri (2007, p. 13) também ratifica essa previsão:

A água, que tecnicamente é um recurso renovável, também dá sinais inequívocos de deterioração em quase todos os cantos do Globo. Os prognósticos sobre a qualidade e quantidade dos recursos hídricos são verdadeiramente alarmantes e já se tornou lugar-comum afirmar que a água será o recurso mais escasso do século XXI e que provavelmente será a causa de muitas guerras.

Diante de dados tão alarmantes, é natural questionar se a água é, de fato, um recurso renovável. Mesmo no Brasil, onde ainda há abundância do recurso, já ecoam vozes a favor de uma maior conscientização sobre o problema da escassez, como o ex-ministro da Cultura Gilberto Gil (2005).

Só mais recentemente foi que a humanidade, algo assustada e perplexa, deu-se conta, novamente, de que as reservas naturais do planeta não eram inesgotáveis. Que o avanço predatório sobre o mundo natural poderia produzir alterações climáticas e nos privar de bens preciosos. Que produtos químicos envenenavam a terra, as águas e o ar. Que, enfim, o planeta encontrava-se ameaçado. E, com ele, a vida humana.

Em diversos lugares do mundo, é possível identificar a preocupação com o gerenciamento do uso de água. Os casos de reaproveitamento e reciclagem estão se tornando cada vez mais comuns. No Brasil, por exemplo, a Ambev disponibiliza em seu *site* informações sobre a quantidade de água reciclada e devolvida à natureza. Assim como a fábrica brasileira, muitas outras, aqui e no mundo, têm iniciativas semelhantes.

É preocupante verificar que o desperdício e a contaminação dos recursos hídricos ainda sejam práticas recorrentes, mesmo diante de previsões tão funestas sobre a quantidade de água disponível. A contaminação acrescenta a esse quadro uma consequência negativa: o risco de propagação de doenças que colocam em risco o bem-estar e a saúde da população.

O início do século XXI foi marcado por diversas tragédias ambientais – tsunamis, terremotos, tufões, alagamentos e queimadas – que trouxeram à tona indagações importantes sobre a responsabilidade dos indivíduos e dos governos. É inevitável notar que essas questões trazem desafios de primeira ordem para os profissionais de engenharia, que passam a desempenhar um papel central no tratamento da temática ambiental.

A explosão demográfica é um dos motivos que propiciou a aceleração da degradação ambiental, precarizando as condições de vida nas regiões onde habita uma parcela significativa da população mundial. O acesso à habitação adequada e à água potável tende a se transformar em um privilégio para poucos. Nesse cenário, a ausência de rede de esgoto sanitário desponta como outro grave problema.

Não raro, o esgoto e os dejetos são lançados *in natura* nas águas de rios e oceanos. A construção irresponsável de fossas é outro fator que contribui para a contaminação da água de nascentes e poços. Já não restam dúvidas que incontáveis patologias têm origem no consumo de águas impróprias.

Para vencer os desafios atuais e fomentar práticas mais sustentáveis, é preciso investigar diferentes realidades e traçar soluções que levem em conta as peculiaridades de cada contexto. É exatamente este o objetivo da presente dissertação. Na esteira das pesquisas sobre gestão e planejamento de recursos naturais, este trabalho visa elaborar alternativas para o gerenciamento de recursos

hídricos. O contexto de pesquisa é a remota vila de Tanahbala, na Indonésia. Tendo em vista os desafios e as características específicas do local, este estudo propõe sugestões com o objetivo de evitar a contaminação do sistema de abastecimento, recomendar equipamentos de saneamento, sugerir um esquema de drenagem que não favoreça a proliferação de vetores de doenças (como a malária), propor uma estratégia para o manejo adequado dos animais domésticos e garantir o fornecimento de água verdadeiramente potável.

O presente trabalho desdobra-se em quatro etapas principais. Abre-se esta dissertação com um breve panorama dos aspectos históricos, geográficos e econômicos que permeiam a realidade da população da Indonésia. Em seguida, são oferecidos dados sociais e culturais característicos da população local. Merece destaque a apresentação das tradições que interferem no uso do solo e da água. Ainda no Capítulo 2, o estudo debruça-se sobre os perigos relacionados à água e à estrutura de abastecimento, sendo mencionadas, inclusive, as patologias mais comuns decorrentes do manejo inadequado da água. Em seguida, o Capítulo 3 discute a metodologia utilizada para a geração dos dados. No Capítulo 4, o foco é direcionado para a realidade da vila da ilha Tanahbala. Nesse capítulo, são apresentados aspectos culturais e questões ambientais que possibilitam a compreensão dos problemas vivenciados por essa comunidade. A partir dessas informações, são enumeradas sugestões que, do ponto de vista da engenharia, são capazes de mitigar as ameaças provocadas pela contaminação e mau uso da água nessa localidade. Por último, o Capítulo 5 encerra este trabalho com uma reflexão sobre como e porque colocar a gestão dos recursos hídricos a serviço da melhoria da qualidade de vida de uma população.

2

Estado da arte

2.1

Indonésia: aspectos geográficos, culturais, históricos e econômicos

2.1.1

Aspectos geográficos e culturais

A República da Indonésia é um dos países mais extensos do sudoeste asiático, sendo conhecida como o maior arquipélago do planeta (CIVITA, 2010). Seu território ocupa um importante ponto de ligação entre o sudoeste asiático e a Austrália, além de fazer fronteira com algumas regiões da Nova Guiné. Em outras palavras, trata-se de um país único, onde Ásia e Oceania se encontram.

A Indonésia tem fronteiras marítimas com Filipinas, Malásia, Cingapura, Palau, Austrália e partes da Índia. Já as fronteiras terrestres colocam o país em contato com Malásia, Bornéu e Timor Leste (CIVITA, 2010).

O relevo da Indonésia é mais uma característica que a distingue de outros países. Seu território contém cerca de 13.700 ilhas, distribuídas por aproximadamente dois milhões de quilômetros quadrados de superfície. Sumatra, Java, Sulawesi, Jaya e Kalimantan são as ilhas mais importantes, representando em torno de 90% da extensão total do país (CIVITA, 2010).

O clima equatorial mantém a temperatura alta em quase todas as regiões da Indonésia, o que contribui para a formação de uma vegetação abundante e diversificada. O bambu é um dos espécimes vegetais típicos – não por acaso, ele é um dos materiais fundamentais para a construção das casas das populações ribeiras e está presente em boa parte do artesanato produzido no país (CIVITA, 2010).

Atualmente, é impossível pensar na Indonésia sem comentar o desastre natural ocorrido em dezembro de 2004, quando milhares de vidas foram ceifadas por conta de um tsunami devastador. As ondas gigantes varreram todo o sul

asiático, inclusive a Indonésia, onde aproximadamente duas mil pessoas morreram (CIVITA, 2010).

A causa dos tsunamis está intimamente ligada à formação geológica da região onde está localizada a Indonésia. De acordo com Smid (1970), os tsunamis são típicos de áreas localizadas nos limites entre placas tectônicas. Toda vez em que há uma movimentação abrupta dessas placas, quantidades gigantescas de água são deslocadas, produzindo efeitos nefastos, como os registrados na Indonésia em 2004 e, mais recentemente, no Japão.

Estudos demográficos apontam a Indonésia como o quarto país mais populoso do mundo. Em 2000, estimava-se que a população do país chegaria perto da marca dos 220 milhões até 2004. As altas taxas de crescimento são resultados óbvios da ausência de investimentos em educação, o que leva, inevitavelmente, a um planejamento familiar pouco consciente. Outro problema grave é a falta de políticas capazes de integrar as partes mais remotas da Indonésia. Na maioria das vezes, essas regiões distantes são deixadas de lado pelo governo central, não sendo contempladas com políticas de acesso à educação de qualidade e ao trabalho formal (HALLIDAY, 2006). São essas condições que perpetuam a pobreza e a desigualdade social na Indonésia, fazendo desvanecer no horizonte da população a esperança por dias melhores.

As diferenças na Indonésia não se limitam ao campo das desigualdades sociais. Os aspectos culturais também tornam difícil delinear um perfil homogêneo para o cidadão desse país. Distribuídos entre 583 etnias diferentes, os habitantes do arquipélago falam, além do indonês, outros 250 idiomas e dialetos. A maior parte da população descende do povo malásio, cujos antepassados chegaram à Indonésia 4.500 anos atrás.

As fronteiras geográficas da Indonésia – em especial a proximidade com a Indonésia e a Malásia – explicam a diversidade étnica característica de sua população. Há grupos de várias etnias espalhados ao longo do território, formando pequenas comunidades com tradições e costumes próprios.

De todos os grupos que compõem a população da Indonésia, o mais influente é, sem sombra de dúvida, o javanês. Outros grupos também têm forte influência, como os Dani, os Asmat, entre outras tribos de Papua. O povo das

ilhas de Nusa Tenggara, os Dayaks de Kalimantan, bem como os Batak do Norte de Sumatra, também merecem destaque devido a sua densidade demográfica.

2.1.1.1

Das muitas religiões ao predomínio islâmico

A religião também é um reflexo desse “caldeirão” de diversidade. A população da Indonésia mescla costumes e influências religiosas oriundos do hinduísmo, budismo e islamismo. Durante o curso da História, hindus, japoneses, holandeses, ingleses e portugueses ajudaram a compor a população da Indonésia, cada um deles acrescentaram seus próprios ingredientes culturais e religiosos ao quadro de valores e tradições do país.

Assim, é inevitável que a formação religiosa do grande arquipélago seja tão plural e misturada quanto a origem de seus habitantes. Por outro lado, em locais como Bali, o hinduísmo e o budismo se sobressaem, ocupando uma posição de destaque em relação às demais religiões. Mesmo sendo tão plural, a Indonésia conta com uma religião oficial: o islamismo.

A Indonésia é o país com o maior número de muçulmanos do mundo, deixando para trás, inclusive, a Arábia Saudita—que foi por muito tempo a maior nação islâmica do mundo. Cerca de 90% dos habitantes do arquipélago declaram ser muçulmanos, ao passo que o cristianismo só conta com menos de 10% dos fiéis. O hinduísmo e o budismo dispõem de um número de adeptos ainda menor.

Na Indonésia, predominam as leis, as tradições, as crenças e os hábitos de um país predominantemente muçulmano. No entanto, a diversidade cultural característica de um arquipélago tornou inevitável a heterogeneidade de hábitos, rituais e costumes. Dessa forma, as normas e as mesquitas islâmicas coexistem com templos devotados a deuses animais, venerados por muitos que ainda se apegam às tradições das ilhas. Há também religiões com seguidores oriundos de comunidades pequenas, que formam um verdadeiro sincretismo religioso a partir da combinação de crenças do hinduísmo e do budismo.

2.1.2

Aspectos históricos

A primeira página da história da Indonésia foi escrita nos primórdios da Era Cristã, quando tribos que habitavam essas ilhas foram subjugadas por populações oriundas da Índia. A dominação hindu prevaleceu até o século XXII. Nessa ocasião, os opressores passaram a ser de origem muçulmana (BROWN, 2003).

Esse quadro só se alterou no decorrer do século XV, quando as naus europeias atracaram na Indonésia. A partir desse momento, o território tornou-se objeto de cobiça de Portugal e de outras metrópoles europeias, como a holandesa. Sob o jugo holandês, especificamente, a Indonésia converteu-se em um importante depósito de especiarias, de onde a Companhia das Índias Orientais extraiu verdadeiras fortunas (BROWN, 2003).

Durante a Segunda Guerra Mundial, o papel de algoz foi exercido pelo membro oriental das forças do Eixo – o Japão. Foi só em 1945, mediante a rendição japonesa – que grupos nacionalistas da Indonésia conquistaram a independência do país (BROWN, 2003).

Na década de 1950, o líder político Sukarno imprimiu um novo curso à história da Indonésia. Por meio de uma série de medidas centralizadoras, ele conseguiu reconfigurar a condução política do país, concentrando seus esforços no controle social da população. Além disso, consolidou uma política externa independente, mesmo em um mundo marcado pela bipolaridade da Guerra Fria (BROWN, 2003).

Nos anos 1960, Sukarno não resistiu frente às tentativas de golpe dos comunistas e dos militares. Em 1968, o poder foi transferido de suas mãos para o controle dos militares. Em pouco tempo, o militar Suharto foi conduzido ao comando da nação, com maioria absoluta nas representações do parlamento (BROWN, 2003). Estavam lançados os alicerces de uma ditadura que permaneceria no controle da Indonésia até o apagar das luzes do século XX.

O retorno à democracia só foi possível em 1999, quando a onda de protestos contra o FMI tornou inevitável a renúncia do ditador. Enfim, após a

realização de eleições livres, o país pôde desfrutar os privilégios democráticos de uma república presidencialista (BROWN, 2003).

2.1.3

Aspectos econômicos

A economia da Indonésia padece de diversas mazelas. Essas dificuldades estão profundamente enraizadas no campo dos investimentos. Entre elas, destacam-se a falta de recursos financeiros no planejamento agrário e a incipiência de uma indústria pouco competitiva.

No âmbito internacional, a situação da Indonésia é um reflexo das fragilidades da economia doméstica. A rúpia sofre um processo de crescente desvalorização frente ao dólar, com uma cotação de um dólar para 9.952 rúpias, em 2009 (CIVITA, 2010). Depois da crise que se abateu sobre o país na década de 1990, a economia sofreu sucessivos abalos. Os efeitos da crise financeira aliados à contínua desvalorização da rúpia também se propagaram na arena política, levando o presidente Haji Mohammad Suharto a renunciar em maio de 1998.

Pode-se afirmar que o principal obstáculo para o crescimento econômico da Indonésia é de natureza estrutural. A base da economia nacional é a agricultura que, apesar de diversificada, não apresenta índices satisfatórios de mecanização. Além disso, a exportação clandestina de primários como milho, arroz, batata doce, chá, café e tabaco causa sérios prejuízos aos agricultores que operam dentro dos limites da legalidade (PACIEVITCH, 2006).

A mineração é uma das atividades econômicas que mais cresce no país, atuando como um dos principais catalisadores da recuperação do país. O ouro, o cobre e a bauxita também são fontes significativas de crescimento econômico. A entrada de capital estrangeiro tem criado novas frentes de desenvolvimento. Por outro lado, essa dependência de capital estrangeiro é um motivo de crescente preocupação, pois torna a economia do país mais vulnerável. Os mais pessimistas temem que a fuga desses capitais em momentos de crise dificulte ainda mais a recuperação da Indonésia (PACIEVITCH, 2006).

Em 2007, o PIB da Indonésia foi de aproximadamente 845,6 bilhões de dólares, 6% maior do que o alcançado no ano anterior. O PIB *per capita* ficou na casa de 3.400 dólares. Ora, com índices de desenvolvimento humano alarmantes, fica claro que a renda nacional não é distribuída de maneira igualitária. Estima-se que cerca de 20% da população da Indonésia viva abaixo da linha da pobreza, em condições de miséria extrema (PACIEVITCH, 2006).

A receita dos problemas econômicos da Indonésia inclui uma inflação galopante associada a uma alta taxa de desemprego, que beirava os 10% em 2007. Os esforços em prol da superação da crise também são, em certa medida, um “tiro pela culatra”. Os empréstimos contraídos para financiar o crescimento são feitos a juros altos, o que contribui para o aumento do endividamento da Indonésia (PACIEVITCH, 2006).

Quando comparada aos países vizinhos, a Indonésia vê suas fragilidades com ainda mais clareza. Saltam aos olhos as diferenças que separam a Indonésia de países ricos como Cingapura e Austrália.

Para minimizar esses problemas, a condução da política externa da Indonésia tem privilegiado acordos de cooperação econômica. Dentre eles, destacam-se a Associação das Nações do Sudeste Asiático e a Comissão Econômica e Social para a Ásia e o Pacífico (ESCAP).

2.2

Perigos e desafios relacionados à água e à estrutura de abastecimento

2.2.1

Estrutura de distribuição de água: suas carências e perigos

De acordo com dados da UNICEF (2004), 1,1 bilhão de pessoas no mundo não tem acesso à fonte de água tratada e 2,6 bilhões não usufruem de um sistema de saneamento adequado. Localidades como a ilha de Tanahbala, examinada no presente estudo, compõem a interminável lista de comunidades privadas desses recursos essenciais à vida.

Como é de se prever, esse déficit no sistema de gestão dos recursos hídricos e sanitários se faz sentir na taxa de mortalidade. No mundo inteiro, entre quatro e seis mil crianças morrem por dia devido a doenças associadas à falta de acesso à água potável e ao saneamento inadequado (WSSCC, 2004).

Em resposta a esses números, a ONU elaborou uma proposta conhecida como Metas de Desenvolvimento do Milênio (MDM), cujo objetivo é reduzir pela metade, até o ano 2015, o número de pessoas sem acesso à água potável e saneamento básico. Em algumas partes do mundo, resultados animadores mostram que progressos consideráveis têm sido feitos nessa direção. Porém, esses desdobramentos não são uniformes ao redor do globo. Em muitas partes da Ásia, a falta de acesso à água potável ainda é um problema grave, que penaliza cerca de 675 milhões de pessoas (UNICEF et al. 2004).

Historicamente, o fornecimento de água encanada vem acompanhado de uma melhora na higiene e de uma redução na incidência de doenças. O problema é que a infraestrutura para o fornecimento de água não dura para sempre: à medida que ela envelhece, o sistema de distribuição de água torna-se mais vulnerável a invasões e contaminações, o que contribui para a proliferação de doenças endêmicas e epidêmicas (MOE & RHEINGANS, 2006), como mostra a Figura 1.

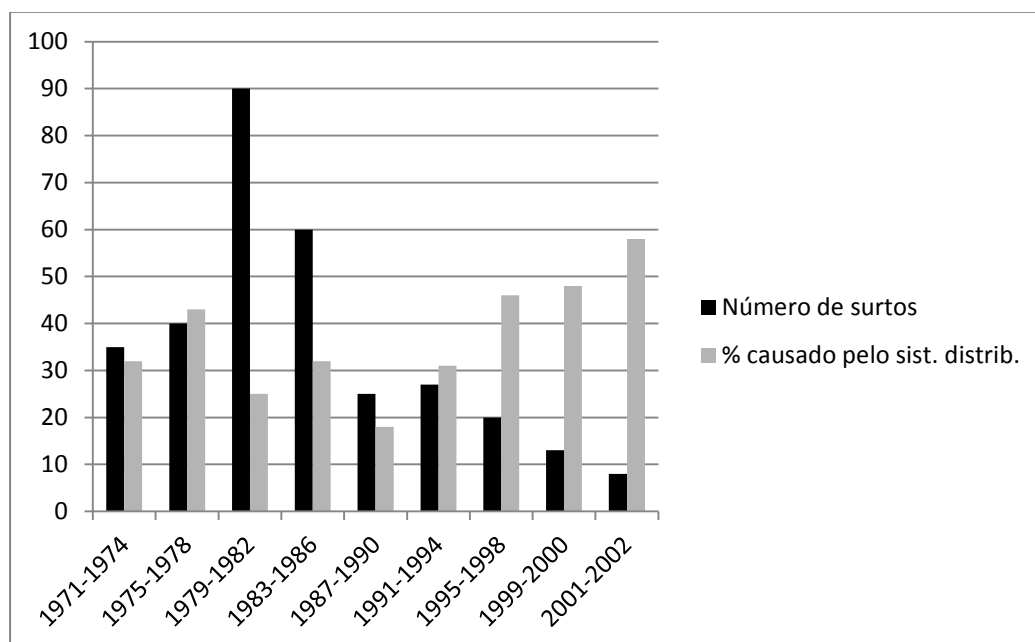


Figura 1 – Comparativo entre surtos de doenças associadas ao abastecimento de água.
Fonte: MOE & RHEINGANS, 2006.

A contaminação microbiana em partes do sistema de distribuição também desempenha um papel central no aumento dos surtos de doenças. Estudos de Payment et al. (1997) sugerem que problemas no sistema de distribuição podem ser uma das causas de doenças gastrointestinais detectadas no estudo de famílias que bebiam água da torneira.

A presença de biofilmes também é uma fonte de problemas em sistemas de distribuição de água, por proporcionar um ambiente favorável para certas bactérias, especialmente patógenos oportunistas, responsáveis por doenças em pessoas com sistema imunológico imaturo ou debilitado. Para garantir sua própria sobrevivência em uma superfície viva ou inerte, as bactérias costumam se organizar em biofilmes, uma espécie de camada que protege o crescimento e o desenvolvimento desses microrganismos.

Esses patógenos costumam penetrar no sistema de distribuição por conta da presença de fezes ou terra contaminada. Com isso, eles multiplicam-se e colonizam, inclusive, partes distantes do sistema de distribuição. Patógenos não-entéricos, como *Legionella sp*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Mycobacterium avium intracellulare*, também colonizam encanamentos.

O biofilme pode, ainda, proteger patógenos virais e protozoários da desinfecção, permitindo que sobrevivam por mais tempo no sistema de distribuição. Storey & Ashbolt (2003) demonstraram recentemente a acumulação e persistência do modelo de vírions entéricos em água potável com biofilme.

A qualidade da água é um assunto particularmente preocupante nos países em desenvolvimento, onde os recursos existentes não dão conta de manter a infraestrutura das redes de distribuição e fazer a desinfecção residual. O quadro torna-se ainda mais grave quando se leva em consideração a velocidade vertiginosa da urbanização nesses países. O crescimento dos grandes centros urbanos impõe uma sobrecarga aos sistemas de água existentes. Enquanto não vem a expansão do sistema de distribuição, muitos bairros pobres improvisam ligações clandestinas – e precárias – à rede.

As rachaduras nesses sistemas são provas de como a água – um recurso tão precioso – tem sido sistematicamente desperdiçada. A alta taxa de vazamentos não deixa dúvidas. De acordo com dados da OMS (2001), a perda de água em

países industrializados variou entre 8% a 24% em 1991. Já nos países recém-industrializados, essa taxa ficou entre 15% e 24%. Os países em desenvolvimento, por sua vez, atingem a impressionante taxa de 25% a 45% de desperdício.

As quedas de energia e a pressão baixa ou negativa nas tubulações também contribuem para a contaminação da água e para o acúmulo de águas residuais em torno dos tubos. O impacto desses problemas sobre a saúde da população tem um potencial gigantesco. Muitos dos maiores surtos registrados ao longo das duas últimas décadas estão ligados à contaminação do sistema de distribuição. Segundo Renkevich et al. (1998), são provas disso as epidemias de febre tifóide em Dushanbe, Tadjiquistão, em 1997, bem como os surtos de cólera em Cabo Verde, de 1994 até 1997, Guiné Bissau, em 1996, e Peru, 1990.

2.2.2

Patologias mais comuns na Indonésia associadas à água

Na Indonésia, uma parcela significativa da população concentra-se abaixo da linha de pobreza. Nessa camada social, a falta de acesso à água potável ainda constitui o principal problema de saúde. Alguns dos culpados são a precariedade da estrutura de distribuição e a geografia do país. Ao contrário dos países situados em terras continentais, a Indonésia não tem meios de criar um sistema de distribuição centralizado. Formado por milhares de ilhas, o país deixa por conta de cada uma delas a tarefa de criar e gerenciar seu próprio sistema de distribuição e tratamento de água.

Não sem razão, a população da Indonésia tem sido acometida de doenças diarréicas provocadas pela água contaminada. Não é surpresa, portanto, que a diarreia ainda esteja – em pleno século XXI – entre as dez principais causas de óbitos no país (OMS/UNICEF, 2000).

Durante seis anos, um grupo de pesquisadores investigou os casos de diarreia provocada por infecção crônica (SIMADIBRATA et al., 2004). Os resultados apontaram bactérias e protozoários – provavelmente vindos da água – como os principais responsáveis por esses números. A diarreia infecciosa crônica, especificamente, foi detectada em 66,7% da população.

A contaminação da água é um problema até mesmo para os moradores de Jacarta, a capital da Indonésia. Dados do Banco Mundial (2002) revelam que menos de 3% da população de Jacarta está conectado a um sistema de esgoto. Se a situação é calamitosa na capital, alvo da maior parte do dinheiro injetado no país, é natural imaginar um quadro ainda pior para ilhas e vilarejos isolados, que estão fora da rota dos principais investimentos.

Devido à baixa altitude e à inexistência de um sistema de drenagem apropriado, Jacarta é frequentemente inundada. Essas inundações atingem o pico entre janeiro e fevereiro, afetando mais de 70 áreas diferentes. Localizada ao leste de Jacarta, Kampung Melayu, uma das áreas mais afetadas pelas inundações, é justamente a região mais penalizada com surtos de doenças transmitidas pela água durante os meses de chuva (PHANUWAN et al., 2006).

Outra evidência importante é o alto índice de contaminação de turistas que visitam o país por doenças transmitidas pela água. Outros países sofrem com problemas semelhantes. Em 2008, por exemplo, 484 turistas foram contaminados com doenças agudas em Taiwan. As cinco doenças mais comuns eram dengue (226 casos), disenteria amebiana (72 casos), shigelose (43 casos), hepatite viral aguda A (35 casos) e febre tifóide (19 casos). Dessas cinco, as quatro últimas são transmitidas por água contaminada. A Indonésia não foge à regra: ela lidera o *ranking* dos cinco países onde os turistas contraem doenças infecciosas com maior frequência, seguida do Vietnã, China, Tailândia e Filipinas (TSAI et al., 2010).

Phanuwan et al. (1996) conduziram um estudo sobre a prevalência de vírus entéricos e enterobactérias nas águas das galerias pluviais e nos reservatórios subterrâneos de Jacarta. Os resultados revelaram que os maiores índices de contaminação das águas fluviais por vírus e bactérias eram encontrados logo após uma enchente. Em outras palavras, os riscos de contaminação aumentaram durante os períodos de inundação.

O monitoramento dos possíveis focos de contaminação microbiana não pode ser executado esporadicamente, mas sim ao longo de um período mais extenso. Afinal, alguns tipos de patógenos têm uma vida mais longa do que os outros, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Tempo de vida dos diferentes tipos de microrganismos em dias.

| Condição | Bactérias | Vírus | Protozoários | Ovos de helmintos |
|---|-----------|-------|--------------|-------------------|
| Solo | 400 | 175 | 10 | Vários meses |
| Plantações | 50 | 60 | Desconhecido | Desconhecido |
| Fezes e lodo entre 20°C e 30°C | 90 | 100 | 30 | Vários meses |
| Compostos anaeróbios em temperatura ambiente | 60 | 60 | 30 | Vários meses |
| Compostos termofílicos de 50 °C e 60 °C por vários dias | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Reservatórios de retenção de fezes | 20 | 20 | 20 | 20 |

Fonte: Adaptado de ESREY, et al., 1998.

Diante dessas informações, constata-se que os sistemas de tratamento e distribuição de água estão muito aquém de um nível minimamente seguro e satisfatório. Configura-se claramente, então, a necessidade de desenvolver alternativas capazes de atender à população, especialmente nos ilhéus mais afastados.

2.2.3

Situação atual das políticas de controle sanitário na Indonésia

Em 2001, décadas de controle político-econômico do governo central foram substituídas por um processo de crescente descentralização. O mesmo ocorreu com o poder legislativo, que passou a ser diluído na administração dos distritos. Com isso, as 33 províncias e os 440 distritos ganharam mais autonomia frente ao governo central para planejar suas próprias estratégias de desenvolvimento. Finalmente, os líderes locais tinham em suas mãos a oportunidade de aproximar o governo da população, criando formas mais equitativas de participação social na gestão da *res* pública (WORLD BANK INSTITUTE, 2008).

Desde então, a Indonésia quadruplicou os gastos governamentais em saúde. Pela primeira vez, as despesas do Estado somavam 1% do PIB nacional

(WORLD BANK INSTITUTE, 2008). As prioridades nacionais no quesito saúde incluíam a saúde materna e a infantil, a desnutrição, bem como a criação de medidas emergenciais para doenças transmissíveis. Também foram estabelecidas alternativas de atuação para situações extremas – como as crises caóticas que se instauram quando um desastre natural acomete o país. A prestação de serviços em áreas afastadas, subdesenvolvidas e fronteiriças também entrou na pauta dos gastos públicos. Todavia, a água e o saneamento básico foram deixados de fora do rol das prioridades nacionais.

O poder público ainda não está plenamente comprometido com a solução definitiva dessas questões. O governo dá sinais claros de que não entendeu que a ausência de saneamento básico representa um custo alto para o país, tanto em termos econômicos quanto sociais. Os dados são bastante alarmantes: cerca de $\frac{3}{4}$ das famílias despejam esgoto em várzeas, lagoas, lagos, rios ou mar. Apenas $\frac{1}{4}$ dessas famílias está depositando esgoto em fossas sépticas ou em poços adequados.

Recentemente, um estudo chegou à surpreendente conclusão de que a falta de saneamento básico na Indonésia provocou, em 2005, perdas econômicas equivalentes a 2,3% do PIB – um valor aproximado de 6,3 bilhões dólares (WSP-EAP, 2007). Isso significa que cada habitante do país perde 28,60 dólares anualmente. Desse valor, 15 dólares são usados para custear a saúde, enquanto o restante é gasto para cobrir as despesas ligadas à despoluição da água; aos impactos ambientais; aos prejuízos no bem-estar e às perdas relacionadas ao turismo (WSP-EAP, 2007).

Nos últimos anos, foi registrado um aumento expressivo dos gastos com saneamento básico e com o fornecimento de água na Indonésia. Porém, esses esforços ainda estão bem aquém do necessário: o país enfrenta sérias dificuldades. No que diz respeito à água, o desafio está, em parte, relacionado à fragmentação do setor público na divisão das responsabilidades pela prestação do serviço. As responsabilidades são tão segmentadas que é impossível apontar de quem é a culpa pelos problemas do fornecimento. Além disso, boa parte dos esforços é desperdiçada no longo caminho burocrático que os recursos têm que percorrer até se transformarem em melhorias concretas.

De acordo com Mukherjee & Shatifan (2008), o Ministério da Saúde, em particular a Direção de Erradicação de Doenças e Saúde Ambiental, é encarregado de gerenciar a política de saneamento nas áreas rurais. Já a política de abastecimento e saneamento das cidades fica sob a égide do Ministério das Obras Públicas. Nas pequenas comunidades, o tema é tratado pelo Ministério da Administração Interna. Segundo os princípios que regem o setor público do país, o Ministério da Saúde não tem competência para centralizar todas as responsabilidades ligadas ao abastecimento da água e ao saneamento.

No nível micro, quem cuida da saúde ambiental são os centros comunitários de saúde (*Puskesmas*), financiados pelos seus respectivos governos distritais. Esses centros contam com técnicos e, inclusive, parteiras (*Bidan Desa*) para monitorar as condições de saúde e saneamento nas comunidades. O papel desses funcionários tem sido crucial na educação comunitária no que tange aos temas ligados à saúde pública (MUKHERJEE & SHATIFAN, 2008).

Ao que tudo indica, as melhorias nos sistemas de abastecimento e tratamento de água e esgoto serão mais eficientes se tiverem como ponto de partida os conselhos comunitários de saúde. Afinal, esse é o nível de gestão pública mais próximo das pequenas comunidades. Concentrar as responsabilidades pelas melhorias nesse nível confere mais rapidez ao processo, pois elimina boa parte da burocracia estatal.

2.3

Principais causas da contaminação da água subterrânea

Na Indonésia, as águas subterrâneas geralmente apresentam boa qualidade microbiológica, mas são rapidamente contaminadas quando os pontos de captação não são bem protegidos. As fontes de captação de água devem ficar distantes dos ramais de esgoto sanitário, a fim de evitar a contaminação em casos de vazamento. Além disso, é preciso assegurar as dimensões adequadas dos aparelhos que compõem os ramais de esgoto. Quando essas medidas não são tomadas, o risco de vazamento e contaminação dos lençóis freáticos aumenta exponencialmente. A poluição da água também pode ocorrer em áreas de recarga,

devido aos poluentes persistentes e móveis que são verdadeiras ameaças de contaminação nesse cenário (HOWARD et al., 2006).

Nos países em desenvolvimento, os poços e as nascentes naturais respondem por cerca de 50% de toda a água subterrânea utilizada em áreas urbanas. A dependência de água subterrânea tem crescido na maior parte das regiões áridas e semiáridas do mundo, por conta das monções e da escassez de fontes de águas superficiais (SUNDARY et al., 2005).

Dentre as principais causas de poluição das águas subterrâneas, merece destaque o lançamento de efluentes líquidos provenientes de indústrias, residências, plantações e cemitérios. No caso da contaminação provocada por indústrias e plantações, ainda é preciso considerar o risco que os produtos químicos presentes nos efluentes representam para a saúde do homem. Ainda assim, cabe ressaltar que os males causados por esses produtos tendem a ser menores do que aqueles provocados por agentes biológicos, como bactérias, protozoários, vírus e fungos.

A maior parte dos prejuízos à saúde surge após exposição prolongada a microrganismos patogênicos. Com o tempo, o organismo do indivíduo infectado sofre um processo de bioacumulação do patógeno responsável pela contaminação. Frequentemente, os diferentes tipos de prejuízo à saúde ficam circunscritos a áreas geográficas específicas ou a determinados tipos de fonte de água.

Segundo Howard (2006), ainda há um longo caminho a ser percorrido para esclarecer a epidemiologia provocada pela contaminação da água por resíduos químicos. O foco desta dissertação recairá sobre um tipo específico de poluição da água. Aqui, será tratada apenas a contaminação causada por esgotos domésticos, criação de animais e cemitérios.

3

Metodologia

3.1

Escolha do contexto de pesquisa

Na viagem para Bali, Sumbawa, Lombok, Nusa Lebongan, Guili Air e Java, nos anos de 2005 e 2009, realizada por dois pesquisadores (um médico e um engenheiro), foram realizadas observações do meio ambiente, ainda sem caráter científico. Porém, observou-se um ritmo acelerado da depredação do meio ambiente do local no ano de 2009 em relação ao de 2005. Bastava comparar a paisagem para concluir as cicatrizes profundas deixadas por atividades econômicas predatórias. Merece destaque a terraplenagem que dizimou as belas falésias da praia Dream Land para viabilizar a construção de um resort e um campo de golfe.

No ano de 2009, o destino principal da viagem era um vilarejo remoto em Tanahbala. Para chegar ao local foi necessário realizar dois voos internos – um voo de Dempassar (Bali) para Jarcarta (Java) e outro voo para Padang (Sumatra). Depois, ainda foi preciso seguir seis horas de carro até o litoral, para ingressar na embarcação que faria a rota do arquipélago de Nias, com um percurso de 12 horas até Tanahbala. No local, não havia uma infraestrutura própria para hospedar uma grande quantidade de turistas. Nas vilas da região, as opções de hospedagem se limitavam a um alojamento improvisado por surfistas brasileiros, denominado *Surfing Village*. O objetivo dos anfitriões não é apenas hospedar estrangeiros, mas sim proporcionar uma experiência genuína de intercâmbio com a comunidade local. A filosofia dos donos do alojamento é bem traduzida no nome que escolheram para seu projeto social: *Terima Kasish*, que no idioma local significa “receber” e “dar”, respectivamente.

Os dois pesquisadores foram incluídos no projeto dos surfistas brasileiros. O objetivo do engenheiro era contribuir com sugestões de engenharia para melhoria das condições de saneamento locais, ao passo que o objetivo do médico era prestar consultas médicas. Foram percorridas várias vilas e casas, bem como a

única escola da ilha. Nas consultas, o médico percebeu que as verminoses e as anemias são os principais problemas de saúde dos moradores da ilha. No caso das verminoses, os vermífugos atuam como mero paliativo. Afinal, a vulnerabilidade da fonte de abastecimento cria um ciclo contínuo de contaminação que impede a recuperação definitiva dos pacientes.

3.2

Definição da pesquisa

3.2.1

Pesquisa exploratória

O presente estudo está alinhado aos pressupostos metodológicos da pesquisa exploratória. De acordo com Theodorson & Theodorson (1970), a pesquisa exploratória é um estudo de pequena escala que tem por objetivo tecer uma análise preliminar sobre um organismo ou fenômeno. Aqui, o propósito central é criar familiaridade com o problema enfrentado na ilha de Tanahbala para levantar dados que, posteriormente, sirvam de insumos para realização de um projeto mais detalhado, capaz de levar a cabo as soluções para o problema de contaminação do sistema de abastecimento de água.

Ainda segundo Theodorson & Theodorson (1970), a pesquisa exploratória tem a vantagem de munir o pesquisador com informações sobre seu tema de pesquisa, a fim de que sejam elaboradas hipóteses mais precisas *a posteriori*. A pesquisa exploratória também lança luz sobre o caminho do investigador, indicando que questões merecem um detalhamento ou uma ênfase maior em estudos futuros, além de sinalizar onde residem as dificuldades potenciais e os principais focos de problemas.

Polit e Hungler (1987) ratificam o ponto de vista de Theodorson e Theodorson (1970), afirmando que a pesquisa exploratória proporciona um entendimento mais profundo da realidade que se pretende estudar mais adiante. No campo da engenharia, a pesquisa exploratória é particularmente útil quando é necessário estimar a viabilidade e os custos de um determinado projeto. O objetivo desta dissertação é precisamente este: levantar dados que proporcionem

um conhecimento geral sobre a ilha de Tanahbala para que, no futuro, outros projetos solucionem definitivamente o problema do abastecimento de água.

A primeira etapa desta pesquisa foi desenvolvida por meio de observações da região e pesquisa documental em bases de dados eletrônicos do governo, a fim de detalhar as características do local de estudo.

3.3

Enfoque da Pesquisa

3.3.1

Modelo quantitativo

A análise quantitativa desta pesquisa consistiu na aplicação de um *software* de modelagem matemática, denominado *Modflow 2000*, versão 4.2.0.1.5.1 (HARBAUGH et al., 2000). No presente trabalho, o objetivo dessa ferramenta foi visualizar o fluxo dos contaminantes no lençol freático e estimar a concentração dessas substâncias na fonte de abastecimento da vila. O *Modflow 2000* é um programa de computador desenvolvido pela *US Geological Survey* que simula o fluxo de águas subterrâneas em um meio poroso saturado tridimensional, com base no método das diferenças finitas.

A fim de modelar o transporte de contaminantes, foi empregada a ferramenta numérica *Modular 3-Dimensional Transporte Model (MT3D)*, desenvolvida por Zheng (1990). O MT3D serve para simular advecção, dispersão, difusão e reações químicas de contaminantes em sistemas de fluxo com diferentes condições hidrogeológicas. O MT3D faz parte do pacote visual do *Modflow 2000*, e utiliza nos seus cálculos os resultados do modelo de fluxo calculados por esse programa.

Os cálculos do dimensionamento da fossa, do filtro e do sumidouro foram feitos a partir dos modelos brasileiros propostos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e pela Funasa (2006).

4

Resultados e Discussão

4.1

Vila da ilha Tanahbala

A província de Sumatra Norte (ou Sumatera Utara, em indonês) ocupa uma região litorânea no oeste da Indonésia, dentro do arquipélago de Sumatra. Essa província é composta por diversas ilhas menores, habitadas por grupos étnicos distintos. Dentre as ilhas que formam o arquipélago, as principais são Nias, Tanahbala, Tanahmasa e Pini. Cabe ressaltar que nem todas essas ilhas são habitadas. A capital de Sumatra Norte é Medan.

Nessa ilha, vivem grupos da etnia Aceh, Nias e Batak. Esses indivíduos preservam boa parte dos ritos de seus antepassados, mesmo aquelas tradições anteriores à ocupação islâmica. No entanto, o cotidiano dessas pessoas também é marcado por elementos típicos dos valores e das normas de conduta muçulmanos.

As atividades econômicas desses grupos destinam-se à subsistência. A maioria dos habitantes dedica-se ao cultivo de alimentos, à criação de animais, principalmente de porcos, e pesca. Aliás, a criação desses animais é uma das causas da contaminação do solo e da água, como veremos mais adiante.

Apesar de viverem em uma ilha ameaçada por tsunamis, como o que varreu a região em 2004, os moradores de Tanahbala não construíram suas casas em palafitas, mas sim diretamente sobre o solo. Esse hábito se opõe à prática comum na Indonésia de erguer casas à altura de pelo menos dois metros do solo.

Nos próximos tópicos, serão apresentadas algumas características gerais da ilha de Tanahbala, bem como outros aspectos que interferem diretamente no problema da contaminação da água e do solo. Porém, não é objetivo desta dissertação tecer críticas às tradições da população.

A localização inapropriada do cemitério e a criação de animais não são as únicas ameaças à qualidade do solo e da água. A população de Tanahbala tem o

hábito de tomar banho em fontes de águas públicas, o que também contribui para o problema da contaminação.

Além disso, os terremotos e os tsunamis adicionam mais caos a uma situação já bastante precária. Em 2004, a Indonésia foi atingida por um tsunami devastador, que não poupou a ilha de Tanahbala.

O lançamento de esgoto bruto e a criação de animais estão localizados na mesma região, no entorno da vila, constituindo um único núcleo de contaminação. Já o cemitério ocupa a área lateral esquerda da entrada da vila (Figura 2).



Figura 2 – Vista aérea da vila
Fonte: Google Earth

O poço que alimenta as casas está muito próximo às fontes de contaminação. No caso das águas subterrâneas, os contaminantes dissolvidos são transportados através da zona saturada do solo, formando plumas. As plumas de contaminantes podem, então, atingir receptores, como poços de captação ou recursos hídricos superficiais, localizados em uma posição à jusante da fonte de contaminação. Portanto, o ideal é que o poço ocupe uma área à montante da fonte de contaminação, conforme mostra a Figura 3.

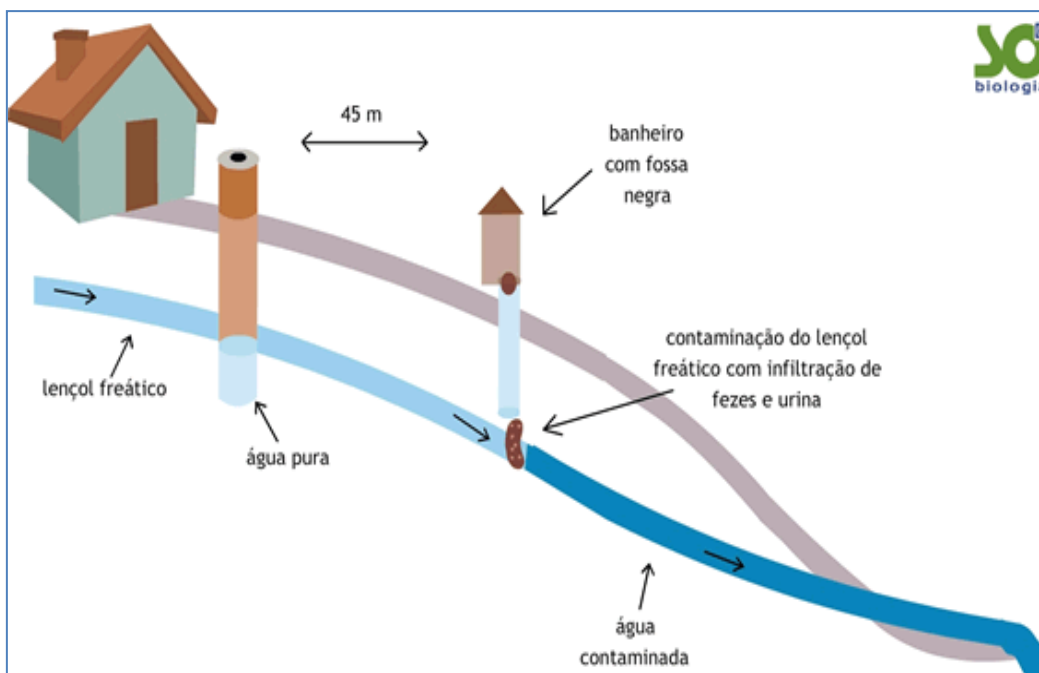


Figura 3 – Forma de captação da água do poço

Fonte: SO Biologia Ensino de Biologia para ensino médio. Disponível em: <http://ensinodematemtica.blogspot.com/p/ciencias-da-5-serie-parte-i.html>

Cabe destacar que existem 22 casas na ilha. Se levarmos em consideração o número de pessoas que habitam essas casas, chegamos a um número entre 350 e 450 habitantes.

4.1.1

Localização geográfica, população e tipo de solo

O objeto de estudo do presente trabalho é uma vila que integra o arquipélago das ilhas Nias, que faz parte da região administrativa de Sumatra do Norte. A ilha de Tanahbala está situada nas coordenadas de latitude -0.416667 e longitude 98.416667m no sistema UTM. O mapa da região pode ser visualizado na Figura 4. Nessa região, o solo é arenoso e de coloração esbranquiçada.



Figura 4 – Mapa da Região

Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sumatra_Ethnic_Groups_Map_en.svg

4.1.2

Clima e vegetação

O arquipélago se situa na zona equatorial, com o clima similar ao da Amazônia brasileira. Esse clima se caracteriza por ser bastante quente e úmido o ano inteiro. A pluviosidade também é alta, em torno de 1755mm anualmente. Há muita chuva no verão, sendo a época mais chuvosa a que vai de novembro até março/abril. Durante o ano, a temperatura oscila entre 28°C e 35°C. Nas proximidades da vila, a vegetação é constituída majoritariamente por espécimes arbóreos e floresta mista.

4.1.3

Fontes de sustento

Os residentes das ilhas Nias vivem da agricultura. O cultivo é feito tanto em terras altas quanto em terras baixas. As ferramentas utilizadas são simples, como uma faca longa, uma espada ou uma vara. A maioria não sabe utilizar o arado puxado por bovinos ou bubalinos.

Eles cultivam principalmente arroz, mandioca, inhame, feijão, pimentão, milho, banana e outras hortaliças menores. Dentre os principais animais de caça, destacam-se porcos selvagens, esquilos, veados e morcegos. Os habitantes dessas ilhas também tiram parte de seu sustento dos frutos da floresta. Outros navegam para pescar ou capturar peixes com rede. Além disso, a criação de animais é uma atividade de destaque nessa região. A criação de suínos, cabras e vacas também é importante.

As ilhas Nias eram conhecidas pela exportação de suínos até vinte anos atrás. No entanto, fatores como o empobrecimento da região, as catástrofes naturais (terremotos e tsunamis) e a decadência das rotas de navegação deixaram a produção atual de suínos muito aquém dos números de outrora. O artesanato de ferramentas de metal, como espadas e facas, também integra a lista de itens comercializados pela população local.

A existência de uma criação de porcos na pequena vila em Tanahbala é uma pista importante sobre a orientação religiosa de seus habitantes. Afinal, tanto os muçulmanos quanto os judeus não consomem a carne desse tipo de animal. Por outro lado, os ritos fúnebres não seguem a tradição cristã. Nos enterros, os habitantes da ilha preferem não utilizar caixões, ao contrário do que prega a tradição cristã. Ainda assim, os cemitérios continuam sendo uma questão problemática no que tange à contaminação da água e do solo. Afinal, os cemitérios estão localizados em áreas demasiadamente próximas às moradias e à água. Por isso, o material resultante da decomposição dos corpos fica depositado no solo, que por ser arenoso e próximo ao oceano acaba se tornando mais permeável.

4.1.4

Aspectos culturais

A língua falada no arquipélago é malaio-polinésia, com três dialetos. Apesar da diversidade linguística, esses dialetos apresentam poucas diferenças entre si. Como a população não sabe escrever, o vocabulário é extremamente instável, sofrendo uma série de transformações ao longo das últimas décadas.

Uma das principais atrações turísticas é a cerimônia de iniciação ou treinamento de guerra. Um muro alto é instalado na parte frontal da casa. Durante a cerimônia de iniciação, o jovem é obrigado a saltar o muro. Quando é capaz de passar por essa cerimônia, ele é considerado adulto, conquistando o direito pleno de entrar na sociedade. A cerimônia é chamada de "zawozawo".

Na maior parte das vezes, a disposição das construções nesses povoados é em forma de "U". A casa do líder do povoado localiza-se no fundo desse "U", ao passo que as demais ficam em torno de um pátio central, formando um desenho retangular. Esse formato é semelhante à organização das moradias em tribos indígenas brasileiras.

Tradicionalmente, a casa do povo Nias é construída na forma de palafitas com um contorno oval ou quadrangular. Essas palafitas contam com uma espécie de porão na parte de baixo. A casa central de uma aldeia do povo Nias é maior do que outras casas de famílias. Ela é dividida em duas partes: a frente funciona como local para receber convidados. Já a parte interna serve como um cômodo para a família e para o proprietário. Na frente das casas existem menires, um tipo de construção feita de pedra na forma de pênis megalíticos. Do lado de fora, na entrada mais especificamente, há altares de pedra na entrada, que são utilizados para organizar banquetes e festas.

As cerimônias de morte são muito importantes para a sociedade Nias. São grandes eventos sociais; podendo representar, no caso de personalidades importantes, uma festividade de grande porte, que consome de 200 a 300 suínos. Porém, hoje em dia, essa cerimônia tem caído em desuso devido ao abandono gradual da antiga religião local, em favor de novas crenças, como o cristianismo e o islamismo.

No passado, a população Nias dividia-se em classes sociais distintas de acordo com a doutrina religiosa de seus ancestrais. Com base nesses costumes, a sociedade era segmentada em categorias, como Ere (líder religioso), Ono Mbanera (pessoas comuns) e Sawuyu (escravo). Antigamente, os escravos capturados durante a guerra eram sacrificados durante as cerimônias. Antes da chegada do cristianismo, do islamismo ou do budismo, os Nias pregavam uma crença baseada na vida após morte em um paraíso que chamavam de Teteholi Ana'a.

4.1.5

Contaminação da água por necrochorume

O nível de contaminação da água por cemitérios é influenciado por fatores como a profundidade das covas, o tipo de solo, o sistema de drenagem utilizado e a proximidade da área urbana. Segundo Almeida (2006), a comunidade científica tem manifestado interesse crescente em investigar maneiras de mitigar o impacto ambiental e sanitário dessa fonte de contaminação.

Infelizmente, a criação de grande parte dos cemitérios não leva em consideração uma série de estudos geológicos ou hidrogeológicos. Na maioria das vezes, as condições do solo e a presença de fontes de água subterrânea não são sequer verificadas. Portanto, a falta de critérios na construção de cemitérios representa uma ameaça considerável à saúde pública, tendo em vista o risco de contaminação provocado pela decomposição dos corpos enterrados.

O ideal é que os cemitérios sejam instalados em áreas afastadas dos centros urbanos. Porém, é comum encontrá-los completamente integrados à paisagem urbana. Em alguns casos, a construção foi feita em locais demasiadamente próximos à cidade. Em outros, os cemitérios eram originalmente afastados, mas foram engolidos pela paulatina expansão das cidades (MIGLIORINI, 2002).

A principal fonte de contaminação nesses ambientes são os fluidos liberados por corpos em decomposição. Conhecido como necrochorume, esse líquido é uma solução aquosa de cor castanha acinzentada e de cheiro forte. O necrochorume é formado por água (60%), sais minerais (30%) e componentes

orgânicos (10%). Convém ressaltar que a cadaverina e a putrescina – duas substâncias que compõem esse líquido – são altamente tóxicas. Elas são produzidas por microrganismos, frequentemente patogênicos, como parte da cadeia de utilização da amônia. Em outras palavras, essas substâncias são indicadores da presença de microrganismos patogênicos (MACEDO, 2004).

Tanto as tradições nativas da ilha quanto os costumes islâmicos vetam o uso de caixões para o enterro dos mortos. De acordo com esses preceitos religiosos, é vetada a utilização de caixões, caixas ou qualquer tipo de invólucro, bem como a cremação dos corpos. Essa proibição torna ainda mais desafiadora a criação de um sistema de distribuição de água potável. Afinal, o necrochorume, como já afirmado anteriormente, contém substâncias nocivas à saúde do homem.

De acordo com a vista aérea, grande parte da região da vila conta com um solo predominantemente arenoso. Esse tipo de solo favorece a penetração de poluentes, por conta da alta permeabilidade, o que aumenta consideravelmente o risco de contaminação do lençol freático.

4.1.6

Contaminação da água por esgoto

Os dejetos humanos podem conter patógenos causadores de diversas doenças, como febre tifoide, paratifoide, diarreia infecciosa, amebíase, ancilostomíase, esquistossomose, teníase, ascaridíase etc. Por conta da falta de educação sanitária, os moradores de Tanahbala costumam lançar os dejetos diretamente no solo, contribuindo para a disseminação de diferentes doenças.

Como não é realizado de forma apropriada, o esgoto sanitário traz vários prejuízos ao meio ambiente da vila, provocando alterações químicas, físicas e biológicas nos mananciais subterrâneos (lençóis freáticos) e nos superficiais (vala). Entre as principais consequências, destacam-se a alteração da cor da água, a presença de odor e matéria fecal, bem como a redução da concentração de oxigênio. Os prejuízos são sentidos tanto na flora quanto na fauna do corpo d'água atingido em Tanahbala.

4.1.6.1

Classificação dos esgotos sanitários

Dependendo de seu aspecto e características gerais, o esgoto sanitário pode ser classificado em duas categorias principais, como mostra o Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação do esgoto sanitário.

| Classificação | Características |
|----------------------|---|
| Esgoto fresco | Apresenta água com aspecto original, quase sem cheiro, graças à presença de oxigênio dissolvido e partículas sólidas ainda intactas. |
| Esgoto velho | O material torna-se homogêneo porque se desintegrou devido à lenta velocidade de transporte. A coloração é cinza escuro e o odor é desagradável por conta da depressão de oxigênio. |

Fonte: FUNASA. Manual de saneamento. Brasília: Departamento de Engenharia de Saúde Pública, 2006.

Em Tanahbala, todo o esgoto produzido é doméstico, pois não há presença de indústrias na área. Além disso, a agricultura local ainda é bastante incipiente, desprovida de agrotóxicos ou fertilizantes químicos. Por conta da ausência de saneamento, o esgoto fresco *in natura* é lançado a céu aberto nas valas do entorno da vila, acumulando-se com o tempo e transformando-se em esgoto velho.

4.1.6.2

Composição dos esgotos sanitários

Os esgotos sanitários são formados por água (99,9%) e material sólido (0,1%). Apesar de responder por uma parcela ínfima do esgoto, a parte sólida causa transtornos desagradáveis, pois é composta por microrganismos unicelulares, que consomem matéria orgânica e oxigênio. Nessa composição, merecem destaque os patógenos, que representam verdadeiras ameaças à saúde dos animais e dos homens.

As fezes humanas que compõem o esgoto são formadas por restos alimentares ou, até mesmo, por alimentos que não foram completamente

digeridos. Além disso, é possível encontrar albuminas, gorduras, hidratos de carbono, proteínas, sais e incontáveis microrganismos. O Quadro 3 mostra os microrganismos e os parasitas presentes no esgoto doméstico bruto.

Quadro 3 – Microrganismos presentes no esgoto doméstico bruto.

| Tipo | Organismo | Contribuição per capita (org/hab.d.) | Concentração (org/100 ml) |
|--------------|---|---|--------------------------------------|
| Bactérias | Coliformes totais | $10^9 - 10^{13}$ | $10^6 - 10^{10}$ |
| | Coliformes fecais (termotolerantes) | $10^9 - 10^{12}$ | $10^6 - 10^9$ |
| | <i>E. coli</i> | $10^9 - 10^{12}$ | $10^6 - 10^9$ |
| | <i>Clostridium perfringens</i> | $10^6 - 10^8$ | $10^3 - 10^5$ |
| | <i>Enterococos</i> | $10^7 - 10^8$ | $10^4 - 10^5$ |
| | <i>Streptococos fecais</i> | $10^7 - 10^{10}$ | $10^4 - 10^7$ |
| | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | $10^6 - 10^9$ | $10^3 - 10^6$ |
| | <i>Shigella</i> | $10^3 - 10^6$ | $10^0 - 10^3$ |
| | <i>Salmonella</i> | $10^5 - 10^7$ | $10^2 - 10^4$ |
| Protozoários | <i>Cryptosporidium parvum</i> (oocitos) | $10^4 - 10^6$ | $10^1 - 10^3$ |
| | <i>Entamoeba histolytica</i> (cistos) | $10^4 - 10^8$ | $10^1 - 10^5$ |
| | <i>Giardia lamblia</i> (cistos) | $10^4 - 10^7$ | $10^1 - 10^4$ |
| Helmintos | Helmintos (ovos) | $10^3 - 10^6$ | $10^0 - 10^3$ |
| | <i>Ascaris lumbricoides</i> | $10^1 - 10^6$ | $10^{-2} - 10^3$ |
| Vírus | Vírus entéricos | $10^5 - 10^7$ | $10^2 - 10^4$ |
| | Colifagos | $10^6 - 10^7$ | $10^3 - 10^4$ |

Fonte: Adaptado de VON STERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

Já a urina é constituída por substâncias como a uréia, que resulta de transformações químicas metabólicas de compostos nitrogenados (proteínas). Tanto as fezes quanto a urina apresentam um percentual considerável de água, bem como matéria orgânica e inorgânica. Nas fezes, a matéria orgânica responde por 20% da composição, enquanto a urina, por apenas 2,5%.

Além de fezes e urina, é preciso considerar outras substâncias que fazem parte do esgoto. Entre elas, cabe ressaltar os sólidos suspensos, que tendem a se transformar em depósitos de lodo no fundo do ambiente aquático. Também há

nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo, que, quando presentes em excesso, causam o crescimento exagerado das águas. Não se deve ignorar também os orgânicos refratários e os metais pesados, que são difíceis de remover e prejudiciais à vida aquática. Por último, convém citar os sólidos dissolvidos inorgânicos – como cálcio, sódio e sulfato – que provocam o aumento da salinidade das águas.

4.1.6.3

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Na água, o oxigênio livre é consumido por microrganismos aeróbicos. Quando a água não dispõe de oxigênio suficiente para atender a necessidade desses microrganismos, todos os seres aquáticos que dependem do oxigênio tendem a desaparecer. Dessa forma, surge um esgoto séptico de cor preta, responsável por odores intensos provocados pela proliferação de formas de vida anaeróbia.

Cabe distinguir a decomposição aeróbica da anaeróbia. Enquanto há oxigênio na água, os microrganismos aeróbicos decompõem a matéria orgânica rapidamente sem exalar maus odores. A decomposição anaeróbia, por sua vez, demanda semanas ou até meses para estabilizar a matéria orgânica, ao passo que o mesmo processo – quando feito aerobicamente – pode durar apenas algumas horas. Costuma-se dizer que a matéria orgânica está em estado de putrefação quando a decomposição anaeróbia gera gases fétidos, como o gás sulfídrico, mercaptano, entre outros. Depois de estabilizada, a matéria orgânica pode ser assimilada por plantas que fazem parte da dieta de homens e animais. Posteriormente, as plantas ingeridas por esses seres vivos são eliminadas nos dejetos, formando um ciclo que se repete indefinidamente.

Damos o nome de demanda bioquímica de oxigênio (doravante, DBO) à quantidade de oxigênio de que os microrganismos aeróbicos precisam para estabilizar a matéria orgânica presente no esgoto. Em geral, a DBO é medida em oxigênio por litro de esgoto (mg/02/1). Quanto maior a poluição orgânica, maior a DBO. Durante a decomposição aeróbica, a DBO diminui paulatinamente, até

chegar a zero. Quando isso acontece, pode-se dizer que a matéria orgânica foi estabilizada.

Apesar de amplamente utilizado, o processo da DBO apresenta dois problemas principais. Em primeiro lugar, são necessários vários dias para a realização desse processo. Além disso, a DBO não se mantém inalterada na presença de matéria não biodegradável. Essas substâncias podem conferir gosto à água e formar espuma na superfície, provocando, inclusive, a morte de peixes. Felizmente, as casas de Tanahbala não liberam dejetos com uma quantidade considerável de matéria não biodegradável, o que facilita um possível tratamento do esgoto na região.

4.1.6.4

Disseminação das bactérias no solo e nas águas subterrâneas

No solo, a disseminação das bactérias no eixo horizontal é quase nula, atingindo apenas um metro de raio. Já no vertical, a disseminação alcança, no máximo, três metros de raio, desde que não haja fendas no terreno (Figura 5).

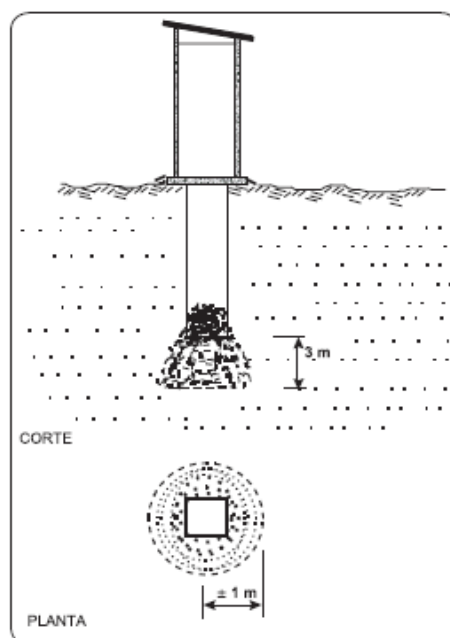


Figura 5 – Disseminação da bactéria no solo.

Fonte: FUNASA. **Manual de saneamento**. Brasília: Departamento de Engenharia de Saúde Pública, 2006.

Em se tratando de águas subterrâneas, a disseminação das bactérias (Figura 6) é mais difícil de prever. Em geral, a água subterrânea com um fluxo de um a três metros por dia pode arrastar as bactérias a uma distância de 11 metros no sentido do fluxo. A modelagem do fluxo de contaminantes nos lençóis freáticos Tanahbala é descrita mais adiante, com o auxílio do *software Modflow* 2000.

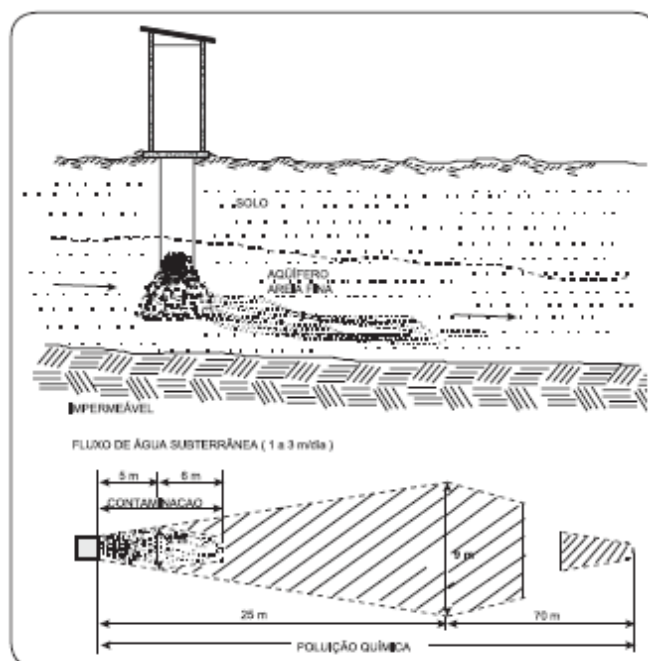


Figura 6 – Disseminação das bactérias em águas subterrâneas. FUNASA. Manual de saneamento. Brasília: Departamento de Engenharia de Saúde Pública, 2006.

4.1.7

Contaminação da água pela criação de animais

As diferentes formas de criação de animais geram impactos ambientais de intensidades variadas. Antes de vislumbrar esses impactos, é necessário analisar as tecnologias empregadas nessa atividade, bem como os sistemas de produção.

No que tange à criação de suínos, Gomes et al. (1992) afirmam que a produção deve dispor de seis componentes básicos: produtor, animais, alimentação, manejo, instalações e insumos para o controle sanitário. Na vila estudada, é empregado um sistema de confinamento tradicional de baixo custo. As

instalações são simples e com presença reduzida de recursos tecnológicos. Além disso, praticamente não existe a reposição de produtores machos ou fêmeas.

Os dejetos dos animais domésticos, em geral, incluem: fezes, urina, pelos, poeiras, restos de ração, água desperdiçada dos bebedouros e da higienização, bem como outros materiais do processo criatório (KONSEN et al., 1998). As características físicas e químicas desses dejetos dependem do sistema de manejo e dos aspectos nutricionais (TUNNEY & MOLLOY, 2005).

O esterco dos animais normalmente apresenta-se na forma pastosa ou sólida, contendo matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros nutrientes incluídos nas dietas dos animais (DIESEL et al, 2002). Cada suíno, em particular, produz em média 7 a 8 litros de dejetos líquido/dia ou $0,21\text{m}^3$ a $0,24\text{m}^3$ de dejetos/mês.

Os dejetos de animais domésticos, quando somados à água da chuva, representam um grave problema de contaminação. Afinal, essa combinação proporciona as condições ideais para proliferação de microrganismos patogênicos, que encontram na água o oxigênio e a umidade de que precisam para seu crescimento (JORDAN, 1992).

O tipo de alimentação dos animais domésticos é outro ponto importante. As dietas ricas em proteína podem ser uma fonte de problema. Quanto maior a quantidade de proteína na dieta, maior a quantidade de nitrogênio expelida na urina (PERDOMO E NONES, 2001). O nitrogênio desses dejetos é convertido em amônia e nitrato, substâncias que, quando se infiltram nas águas do subsolo, podem poluir os poços de captação de água e causar danos à saúde da população (OLIVEIRA, 2003).

Os principais danos à água de lençóis subterrâneos são causados pelo manejo impróprio dos dejetos, segundo Guivant (1998). No caso das ilhas Nias, esse problema é agravado em função da alta concentração de animais em uma área relativamente pequena.

O manejo da água na produção dos suínos é um dos principais problemas causados pela criação em confinamento. A redução da quantidade de água utilizada na produção é essencial para facilitar o armazenamento, o tratamento e a

utilização dos dejetos suínos (VOTTO, 1999). Mais adiante, são mencionadas alternativas para superar esse desafio.

De acordo com dados da Embrapa (2005), o lançamento de grandes quantidades de dejetos nos rios pode causar sérios desequilíbrios ecológicos por causa da DBO, devido ao aumento de matéria orgânica em decomposição na água. O poder poluente dos dejetos suínos, em especial, é cerca de 50 vezes maior que o do esgoto humano.

Os elementos químicos nitrogênio (N) e fósforo (P) são considerados os principais culpados pela poluição do solo e da água. De acordo com Votto (1999) esses elementos são fertilizantes naturais que, quando aplicados em excesso, podem se transformar em poluentes. Além de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), os dejetos suínos também contêm micronutrientes como o cobre (Cu) e o zinco (Zn) que, em doses elevadas, são tóxicos para as plantas (EMBRAPA, 2005).

Na vila estudada, os dejetos dos animais domésticos não são objeto de controle. Durante as monções, em especial, esses dejetos são carregados pelas águas das chuvas até as valas, contaminando, por fim, o poço de captação utilizado pelos moradores para o consumo doméstico.

4.1.8

Dados de entrada para modelagem do fluxo contaminante

Antes de propor medidas para eliminar a contaminação, é necessário entender melhor o fluxo de contaminantes por meio da modelagem, que nos permite visualizar o trajeto e a concentração final dessas substâncias nocivas. Com o auxílio do *Modflow 2000*, foram estimados os parâmetros do fluxo de água subterrânea e do transporte de contaminantes. A advecção, a dispersão e o decaimento foram considerados os meios de transporte dos contaminantes, sendo que a sorção foi desprezada.

4.1.8.1

Geometria

A área analisada é de 23.400 m², sendo 130m de largura por 180m de comprimento. Essa área foi desenhada em uma malha uniforme de 2m x 2m. A vila ocupa aproximadamente 5400 m².

A inclinação do relevo foi considerada constante e igual a 1,8%. A espessura foi dividida em cinco camadas com a mesma inclinação, porém de tamanhos diferentes. A primeira camada possui espessura entre 1,0m e 2,1 m. As duas seguintes têm espessura de 2,5m, ao passo que as duas últimas têm espessuras próximas de 5,0m e 9,8m, respectivamente. A Figura 7 ilustra essa distribuição em camadas.

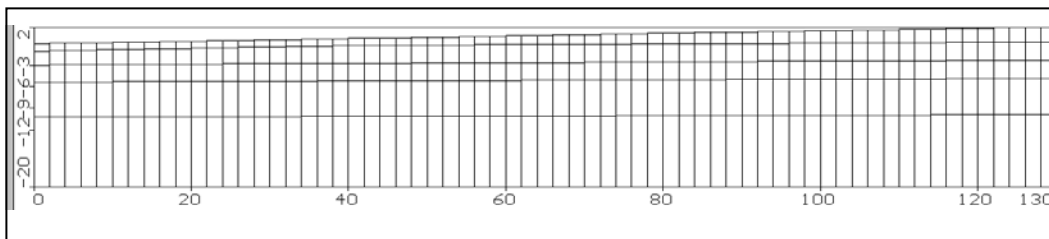


Figura 7 – Distribuição da espessura em camadas
Fonte: Modflow

A distribuição dos fluxos de contaminantes na vila é apresentada nas Figuras 8. Que contém dimensões da vila, elaborada em Autocad.

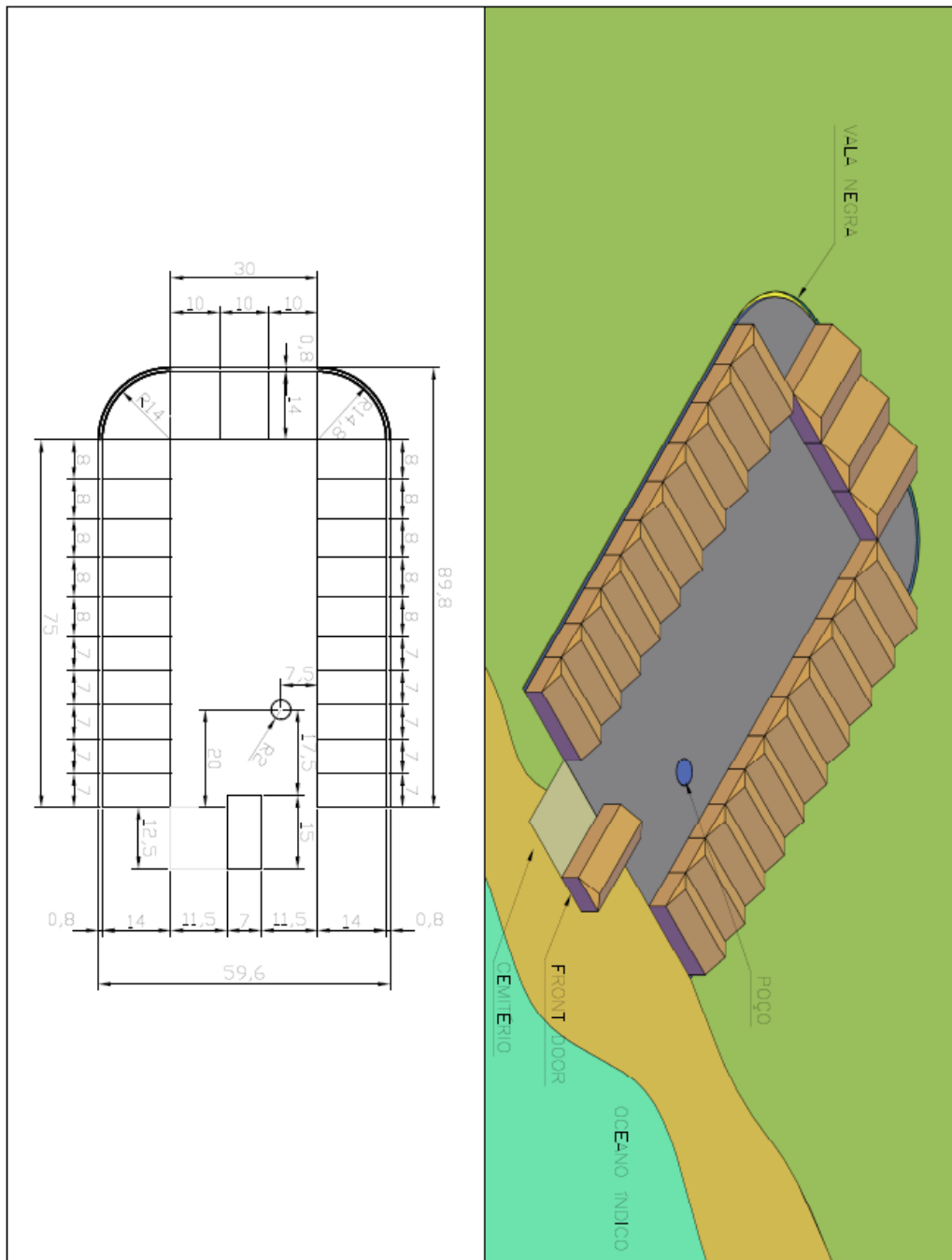


Figura 8 – Arranjo da vila
Fonte: AutoCad

4.1.8.2

Condição de contorno, vazão de efluentes e recarga

As simulações desta pesquisa partiram do pressuposto de que o fluxo é permanente. Dessa forma, a carga ao nível do mar é constante no valor igual a

zero. Ao longo de todo o limite superior do terreno, a carga foi estimada em 0,375m. As condições de contorno estão ilustradas na Figura 9.

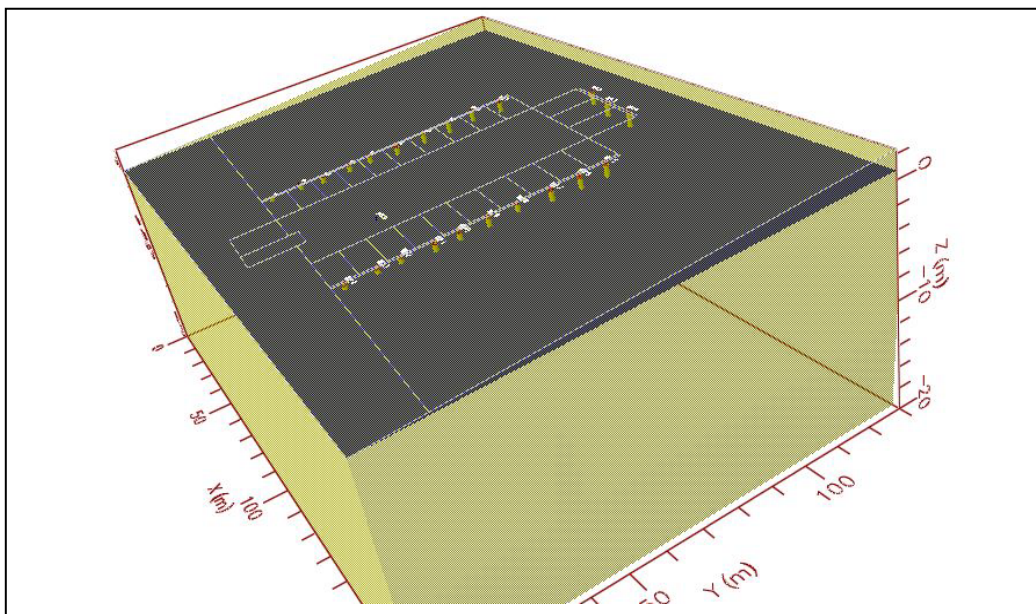


Figura 9 – Condições de contorno
Fonte: Modflow

Estima-se que cada casa seja responsável por uma emissão de esgoto bruto na vala de 3500 litros por dia, sendo que esse valor se mantém constante durante todo o ano. Essa estimativa toma por base os valores sugeridos pela ABNT. A determinação da recarga levou em consideração o índice pluviométrico (1755 mm/ano), bem como as estimativas de *runoff* (coeficiente de escoamento superficial) e evaporação. Ao *runoff* foi atribuído um percentual de 10% do índice pluviométrico, totalizando 175 mm/ano. Já a evaporação foi estimada em 20% desse mesmo índice, o que resulta em um valor igual a 350 mm/ano. Dessa forma, chega-se à estimativa de que a recarga seja equivalente a 1228mm/ano em toda a área estudada.

4.1.8.3

Transporte e outros parâmetros

Para avaliar a qualidade da água subterrânea, a concentração de coliformes fecais foi escolhida como indicador. Sabe-se que a concentração desses coliformes

em efluente bruto pode variar em ordens de grandeza, no entanto, para o presente trabalho, seu valor foi considerado constante em 35×10^6 NMP/100 ml para cada casa da vila. Esse número resulta da estimativa mínima proposta por Von Sterling (2005) para concentração de coliformes fecais no esgoto doméstico. De acordo com ele, essa concentração pode variar de 10^6 a 10^9 NMP/100 ml.

Outro parâmetro importante diz respeito ao decaimento de primeira ordem. Esse coeficiente indica a velocidade com que os microrganismos presentes no fluxo morrem. Neste estudo, o coeficiente de decaimento tomou por base o tempo médio da vida dos coliformes fecais. Segundo a Funasa (2006), esses microrganismos sobrevivem por 35 dias. Dessa forma, foi possível chegar ao seguinte cálculo:

$$C = C_0 \cdot e^{-\lambda t} \rightarrow 0,95 = e^{-\lambda \cdot 35} \rightarrow \lambda = 1,46 \times 10^{-3} \text{ dias}^{-1}$$

form.(1)

Para a modelagem de transporte de contaminante foi utilizado um coeficiente de dispersividade (D) igual a 5m. Levando em consideração que o solo é formado por areia grossa, a permeabilidade foi considerada equivalente a $k = 10^{-3}$ m/s. O coeficiente de permeabilidade é proporcional ao tamanho dos vazios no solo. Quanto maiores as partículas que formam o solo, maior o vazio e, portanto, maior a permeabilidade. Esta dissertação parte do pressuposto de que o fluxo de permeabilidade dos contaminantes é regido pela lei de Darcy (PINTO, 2000).

Após rodado o programa *Modflow*, foram obtidas imagens que indicam a contaminação da fonte de abastecimento de água, conforme ilustra a Figura 10. Já a Figura 11 mostra que, uma vez implantadas as soluções recomendadas mais adiante, não haverá contaminação dos mananciais de água. Em outras palavras, o observado corrobora a tese de que a adoção dos equipamentos indicados nesta dissertação pode contribuir para solucionar o problema da contaminação hídrica na vila de Tanahbala.

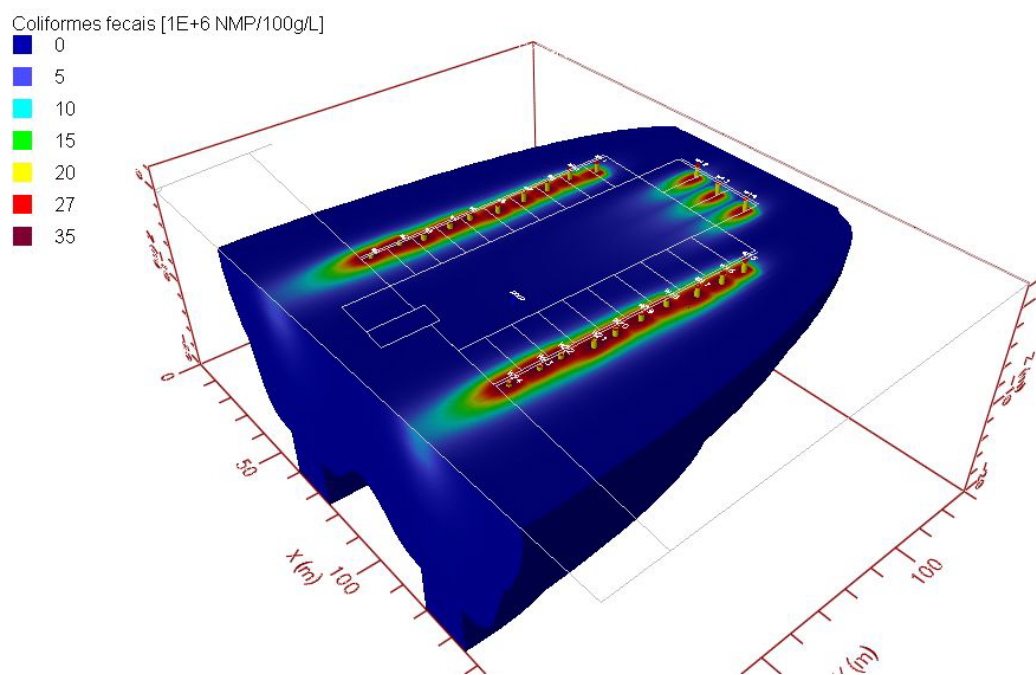
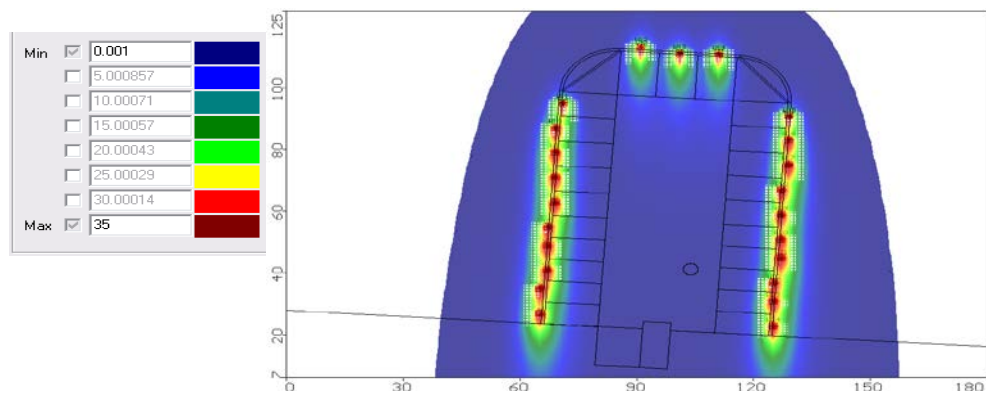


Figura 10 – Concentração de Coliformes Fecais após um ano.
Fonte: Modflow

Para vazão de cada casa = 3.5 m³/dia
 Tratamento com eficiência de 95% na remoção de coliformes fecais.
 Concentração de coliformes fecais após um ano (E 06 NMP/100 ml)

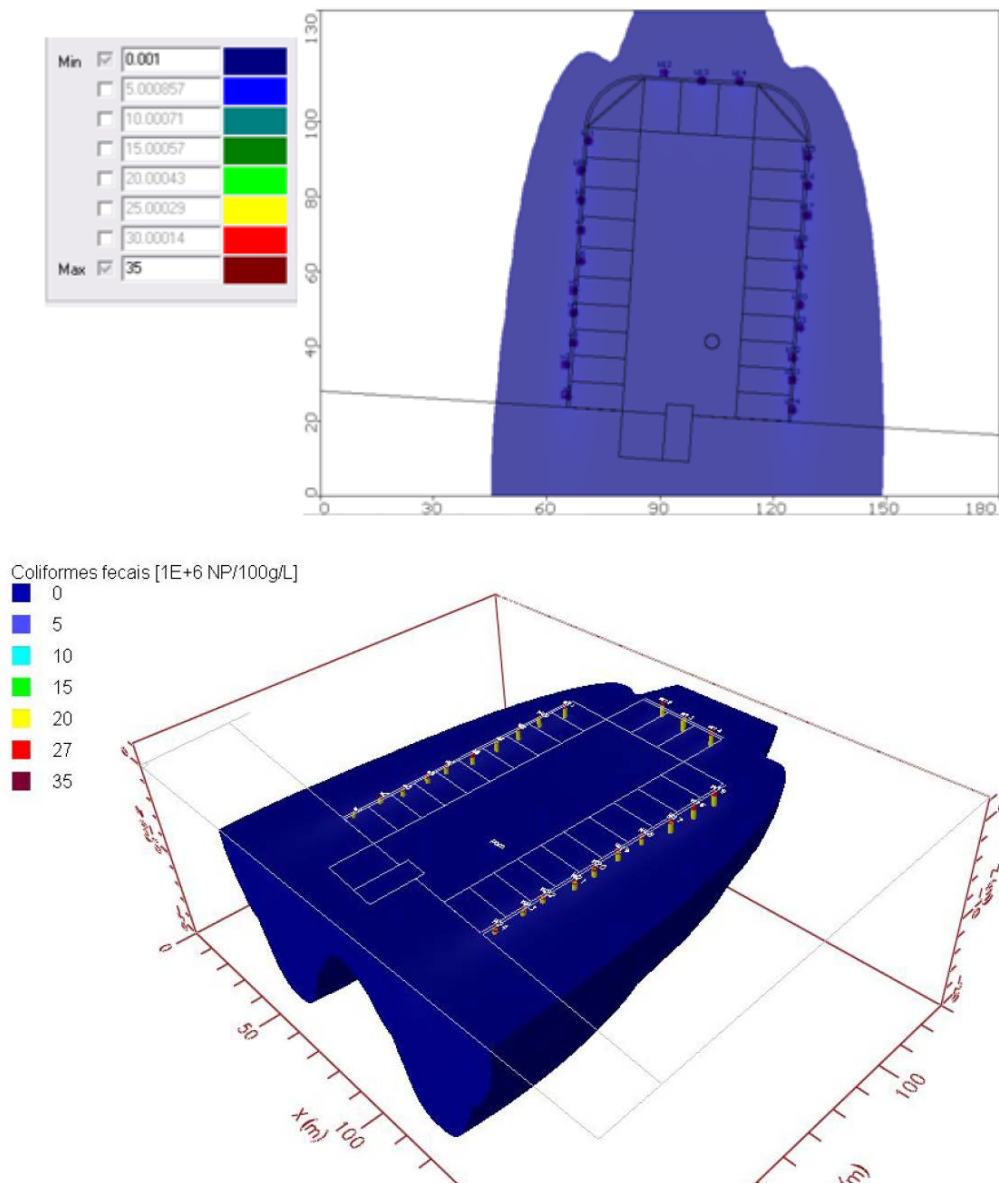


Figura 11 – Concentração de coliformes fecais após tratamento proposto durante um ano.

Fonte: Modflow

4.2

Soluções da engenharia para os problemas da vila

Conforme mencionado anteriormente, esta dissertação não tem o objetivo de propor a aniquilação das tradições da população de Tanahbala. Aqui, são

tecidas sugestões que podem solucionar o problema da contaminação das águas sem colocar em xeque os valores e os ritos religiosos dos indivíduos que habitam a região. A seguir, são apresentadas algumas propostas capazes de evitar a contaminação e melhorar exponencialmente a qualidade da água utilizada pelos moradores do local estudado.

4.2.1

Poços para captação de água

Também conhecidos como poços rasos ou freáticos, os poços escavados servem para abastecer residências individualmente ou até para suprir as necessidades de uma comunidade inteira. Geralmente, esses poços chegam a profundidades de dez a vinte metros, o que permite aproveitar as águas provenientes de lençóis freáticos. Alguns poços são capazes de fornecer entre dois a três mil litros de água por dia.

Com base na análise das curvas de nível da região, já ilustradas na Figura 4, é possível perceber que a água escoar de um ponto mais alto em direção ao mar. Nas áreas mais baixas, é comum que ocorra um acúmulo de água capaz de transformar a localidade em um reservatório natural. Áreas assim constituem o local perfeito para a instalação de um poço. Normalmente, o lençol freático segue a mesma disposição da topografia do terreno. Porém, de acordo com a Funasa (2006), é importante não perder de vista os cuidados que precisam ser tomados antes da instalação de um novo poço. São eles:

- Estudar os poços já escavados na área, assim como sua profundidade, quantidade e características da água fornecida. Esses poços antigos devem servir de referência para a instalação de um novo poço.
- Ouvir a opinião dos moradores sobre o tipo de solo, a profundidade do lençol e a variação da quantidade de água nas épocas de seca e de chuva.
- Em terrenos fáceis de perfurar, como os argilosos e os arenosos, a sondagem pode ser utilizada. Para tanto, convém lançar mão de trados de pequeno diâmetro (50 milímetros a 150 milímetros).

- É importante notar que as águas subterrâneas costumam correr em direção aos rios, lagos e mar, seguindo uma direção perpendicular a eles.
- Certos vegetais seguem o rastro da água e são, assim, indicadores de mananciais subterrâneos. É o caso da carnaúba, por exemplo.
- A escolha do lugar onde será construído o poço deve levar em conta os riscos de contaminação do lençol freático por possíveis focos localizados na região.
- Deve-se respeitar, por medida de segurança, a distância mínima de 15 metros entre o poço e a fossa do tipo seca, desde que construída dentro dos padrões técnicos. Já a distância de 45 metros é indicada para os demais focos de contaminação, como chiqueiros, estábulos, valões de esgoto, galerias de infiltração, entre outros. Aqui, o objetivo é não comprometer o lençol d'água que alimenta o poço.
- O poço deve ser construído em um nível mais alto que o dos focos de contaminação.
- É importante evitar locais sujeitos a inundações frequentes e dar preferência aos lugares de fácil acesso para os usuários.
- Considerar que a existência de muitas fendas no terreno aumentam as chances de contaminação do lençol freático.

Uma vez observados esses critérios para a instalação de poços, os riscos de contaminação e os problemas sanitários reduzem de maneira considerável. Tanto a escavação quanto a construção do poço devem ser feitas dentro do período de estiagem, o que facilita significativamente o trabalho.

Os operários devem tomar cuidados importantes. Em primeiro lugar, não se deve entrar no poço sem ter meios de escape e sem checar a estabilidade das paredes. Já o processo de escavação pode contar com o auxílio de ferramentas comuns, como picareta, cavadeira, enxada, etc. Os trados também podem ser úteis quando o terreno é favorável. Nesse caso, além dos trados, convém usar um método mais rústico de escavação, que inclui a utilização de ferramentas comuns, como a picareta.

É aconselhável que o formato do poço seja cilíndrico, com no mínimo noventa centímetros de diâmetro. Já a profundidade deve ser aquela necessária

para atingir o lençol freático. Após encontrar o lençol, é preciso que o poço seja ainda mais aprofundado para que o aproveitamento da água seja o melhor possível. Esse aprofundamento, porém, não pode ser inferior a 3 metros, que é a altura mínima do revestimento de proteção.

Como o solo é frágil, convém revestir as paredes do poço a fim de evitar desmoronamentos. Uma alternativa interessante é lançar mão de um esquema de contenção feito a partir de um revestimento com manilhões de concreto. O objetivo da proteção do poço escavado é dar segurança à estrutura e impedir a contaminação da água. A proteção do poço escavado tem a finalidade de dar segurança à sua estrutura, principalmente, evitando a contaminação da água. O Quadro 4 lista os principais riscos de contaminação do poço e suas respectivas medidas de proteção.

Quadro 4 – Riscos de contaminação e medidas de proteção.

| Riscos de contaminação | Medidas de proteção |
|---|--|
| Infiltração de águas da superfície pelo terreno, atingindo a parede e o interior do poço. | Impermeabilizar a parede até a altura mínima de três metros e construir em volta da boca do poço uma plataforma de concreto com um metro de largura. Durante a infiltração das águas de superfície no terreno, as impurezas ficam retidas numa faixa do solo. Por isso, o revestimento impermeabilizado deve ter altura de três metros, garantindo, então, a proteção do poço. |
| Escoamento de águas da superfície e enxurradas da boca do poço para o seu interior | Construir uma caixa sobre a boca do poço, feita de concreto. Essa caixa pode ser construída por meio de um prolongamento externo da parede de revestimento do poço. A altura dessa caixa deve ser entre cinquenta centímetros e oitenta centímetros a partir da superfície do solo. |
| Entrada de objetos contaminados pela boca do poço. | Fechar a caixa da boca do poço com cobertura de concreto ou de madeira, deixando apenas uma abertura de inspeção com tampa de encaixe. Isso evita que animais, papéis ou dejetos contaminem a água. |

Fonte: FUNASA. **Manual de saneamento**. Brasília: Departamento de Engenharia de Saúde Pública, 2006.

4.2.2

Cisternas para captação de água

Os poços não podem ser a única alternativa de captação de água para manter o abastecimento da vila. Certamente, muitas famílias residirão em locais distantes dos poços construídos, sendo necessário fazer longas caminhadas até chegar aos pontos de abastecimento.

Tradicionalmente, as cisternas são uma opção interessante para quem não dispõe com facilidade de água para o consumo doméstico. A água da chuva, desde que armazenada em cisternas limpas e seguras, oferece o nível de qualidade adequado para suprir a necessidade dessas famílias.

Em geral, o uso de cisternas é recomendado para áreas com altos índices de pluviosidade. Mesmo assim, elas também são alternativas para quem busca acumular água na estação das chuvas para enfrentar, mais adiante, os desafios de um período de seca.

No caso da vila, a captação de água através de cisternas é apropriada por conta dos altos índices de pluviosidade característicos da época das monções. Nos meses de estiagem, a população ainda pode desfrutar da água armazenada em cisternas durante a estação das chuvas.

De acordo com a Funasa (2006), a cisterna é um reservatório protegido que serve para acumular a água da chuva captada no telhado de uma edificação. A água que cai sobre o telhado passa para as calhas. Depois das calhas, a água atravessa condutores verticais que a levam até a cisterna. O modelo comum de cisterna consiste em um tambor de cimento, amianto ou plástico. Tendo em vista a realidade da ilha, convém utilizar tambores de cimento, que duram mais tempo que os demais materiais. Porém, se o transporte do cimento for difícil, é possível usar tambores de plástico como segunda opção. Nos locais em que há pouca mão de obra especializada, como é o caso da vila, é aconselhável optar por cisternas não enterradas.

4.2.2.1

Cuidados com a cisterna

Para que não haja riscos de contaminação, é importante abandonar as águas das primeiras chuvas. Afinal, elas lavam os telhados, onde fica depositada uma quantidade considerável de poeira ou sujeira proveniente de pássaros e outros animais. Por isso, é necessário desconectar os condutores de descida durante as primeiras chuvas, caso contrário, a cisterna será contaminada com todo tipo de impureza. Antes de usar a cisterna, é fundamental desinfetá-la. Ainda assim, é prudente ferver a água que será usada para fins de consumo doméstico.

4.2.2.2

Cálculo de um sistema de captação de água de chuva

De acordo com dados da Funasa (2006), uma família composta por cinco pessoas tem uma demanda de água semelhante àquela apresentada no Quadro 5. Os cálculos partem do pressuposto de que uma pessoa comum gasta pelo menos 100 litros de água diariamente.

Quadro 5 – Demanda por água para cada casa.

| Consumo diário | Consumo mensal | Consumo anual |
|----------------|----------------|----------------|
| 1.500 litros | 45.000 litros | 540.000 litros |

Fonte: FUNASA, 2006

Na ocasião da escolha da capacidade da cisterna, é necessário considerar a necessidade do consumo da família durante a época da estiagem. Suponhamos, por exemplo, que a previsão gire em torno de um mês sem chuva. Nesse caso, é imprescindível que a cisterna tenha uma capacidade de armazenamento de 45.000 litros.

Já o cálculo da superfície de coleta deve levar em consideração a medida em milímetros da precipitação pluviométrica anual da região. Consideremos, a título de exemplo, uma residência com área de projeção horizontal do telhado

igual a 40 metros quadrados. Se a precipitação pluviométrica anual for igual a 1755 milímetros, será possível captar a seguinte quantidade de água por ano:

$$40\text{m}^2 \times 1755\text{mm} = 70,2\text{m}^3 = 70.200 \text{ litros/ano.}$$

Porém, o resultado obtido não é compatível com a realidade de muitas residências. Na maioria das vezes, não é viável aproveitar toda a área do telhado. Partindo desse pressuposto, consideremos que o telhado tenha um coeficiente de aproveitamento igual a 0,80. Nesse caso, chegamos à conclusão de que serão captados 56.160 litros por ano ($70.200 \times 0,8$).

4.2.3

Isolamento do cemitério

O sepultamento de cadáveres tornou-se um costume já no início da pré-história. Desde aquela época, o sepultamento era feito para evitar a exposição dos corpos mortos, o que poderia atrair predadores e gerar incômodo por conta do odor e do aspecto inerentes ao processo de decomposição (SILVA, 2006). Mesmo hoje em dia, o sepultamento ainda não se tornou uma prática isenta de problemas. Atualmente, resta o desafio de controlar as ameaças de contaminação do ambiente impostas pelo sepultamento dos mortos.

O necrochorume, líquido proveniente da decomposição de cadáveres, é o principal responsável pela poluição ambiental causada por cemitérios. O desafio central é impedir que esse líquido se infiltre no solo e contamine os lençóis freáticos. Afinal, o necrochorume contém uma carga tóxica e microbiológica bastante alta, inclusive, vírus e bactérias. Por isso, a construção inadvertida de cemitérios é um risco para o equilíbrio do meio ambiente e para a saúde da população (PACHECO, 2000).

Por no mínimo seis meses após o óbito, o cadáver verte cerca de 200 ml de necrochorume diariamente. Cada quilo de massa corpórea de um cadáver gera em torno de 0,6 litro de resíduo. Por conta da diversidade de bactérias, vírus e outros agentes causadores de doenças, esse líquido pode apresentar um grau patogênico variado. Diversas enfermidades podem ser transmitidas a partir do contato com o necrochorume ou com a água contaminada por ele. Entre elas, destacam-se o

tétano, a gangrena gasosa, a febre tifóide, a febre parasitóide, a disenteria e a hepatite. É possível, inclusive, que a própria causa do óbito seja transmitida através do necrochorume.

Segundo Silva (2006), a poluição da água através do necrochorume pode ser potencializada, dependendo do tipo de solo, direção do vento, declividade e nível do aquífero. Além disso, é preciso levar em conta que inundações e águas de chuva podem acelerar o transporte do necrochorume.

Diante dessas ameaças, é evidente que a construção dos cemitérios deve ser planejada em terrenos geologicamente adequados, distantes de lençóis freáticos e com solo de baixa permeabilidade. No cemitério da vila Tanahbala, verifica-se exatamente o contrário do recomendado. Além de possuir solo arenoso e com alta permeabilidade, a vila é atingida por inundações periódicas. Por conta disso, os próprios moradores constroem suas casas a cerca de um metro de altura do solo.

Por um lado, o solo arenoso contribui para a contaminação dos lençóis freáticos. Por outro, não se deve deixar de lado os benefícios que esse tipo de solo pode oferecer ao ambiente. De acordo com Melo et al. (2010), o solo pode ser dividido em duas zonas: a zona saturada e a não saturada (ou de aeração). A zona saturada é aquela em que a água consegue preencher todos os espaços. Já a zona não saturada é formada por partículas sólidas e espaços vazios, ocupados por ar e água. Em geral, essas zonas são delimitadas pela passagem de um lençol freático. Na zona não saturada, o movimento da água costuma ser vertical; ao passo que na saturada, é comum haver um movimento horizontal. A zona não saturada é frequentemente formada por areia, que atua como uma espécie de filtro.

A eficácia na retenção de microrganismos depende de fatores como: tipo de solo, aeração, baixa umidade, teor de nutrientes, entre outros. Para as bactérias, que são organismos maiores, o mecanismo mais atuante e eficiente de descontaminação é o de filtração, relacionado à permeabilidade do solo. Já os vírus, que são bem menores, são mais afetados pela adsorção (adesão de moléculas de um fluido a uma superfície sólida), que depende da capacidade de troca iônica da argila e da matéria orgânica do solo.

De acordo com Rizzo (2006), os processos físico-químicos de interação entre solo e contaminantes podem chegar à zona saturada do solo e comprometer a qualidade dos mananciais subterrâneos. Isso acontece porque o produto dessas reações pode ser transportado através dos vazios do solo em função dos gradientes hidráulicos presentes. Os processos químicos envolvidos na migração dessas substâncias envolvem a absorção, a complicação e a precipitação (YOUNG et al., 1992).

Seja qual for o tipo de processo envolvido, o mecanismo de retenção das substâncias no solo dependerá em grande parte das condições físico-químicas do solo. A condutividade hidráulica desempenha uma função crucial nesse processo: quanto mais rápido o fluxo, menor a possibilidade de retenção de materiais no solo.

Em áreas tropicais, a maior parte dos solos sofre uma intensa lixiviação; isto é, o sal ou princípio solúvel dos resíduos é extraído. Isso significa que o solo dessas regiões apresenta uma composição química pobre em argilominerais capazes de fixar íons. De acordo com Rizzo (2006), uma boa alternativa para aproveitar os solos maduros e com textura arenosa é acrescentar compostos capazes de aumentar sua capacidade de retenção. Esses processos de estabilização têm o objetivo de melhorar a resistência mecânica do solo e reduzir sua permeabilidade (RIZZO, 2006).

Rizzo (2006) ainda propõe várias formas de estabilizar a permeabilidade de um solo arenoso. Essas formas podem ser tanto de natureza mecânica quanto química. No primeiro caso, são misturados materiais que aumentam a resistência mecânica do solo. Em seguida, é executado um processo de compactação do solo. No segundo caso, são adicionadas ao solo substâncias que aumentam sua coesão e reduzem sua permeabilidade. Dentre os tipos de estabilização química (com aglomerantes), as mais comuns são a estabilização com cal e com cimento. O principal benefício desse processo é a redução da condutividade hidráulica, consumindo uma quantidade menor de estabilizante.

Para impedir a percolação do necrochorume no solo, convém criar *liners* como barreira de proteção ambiental. Dentre as possibilidades existentes, destaca-se o uso de misturas solo-cal e solo-cimento, como será discutido a seguir. A vantagem dessas alternativas é o custo inferior em relação ao de técnicas

tradicionais, que lançam mão de materiais argilosos e geomembranas (LEITE, 1996).

4.2.3.1

Utilização de *liners* como barreira de proteção ambiental

Os *liners* são camadas de baixa permeabilidade formadas por materiais naturais, artificiais ou por uma combinação de ambos. O objetivo dos *liners* é proteger o entorno da percolação de fluidos. Por isso, uma de suas qualidades essenciais é a capacidade de depuração; em outras palavras, a capacidade de remover impurezas.

O uso de *liners* é comum em solos arenosos, onde é extremamente eficiente. Se aplicados nesse tipo de solo, os *liners* conseguem reduzir de maneira bastante satisfatória o índice de permeabilidade. Além disso, trata-se de uma alternativa de baixo custo, uma vez que não se faz necessário o emprego de tecnologias mais avançadas. Todas essas características tornam os *liners* uma opção ideal para a pequena comunidade de Tanahbala que, por ser isolada e desprovida de muitos recursos, não dispõe dos meios necessários para arcar com os custos de uma solução mais sofisticada.

Os *liners* formam camadas que são aplicadas à base, às laterais e às coberturas de reservatórios e lixões para controlar a infiltração de fluidos. Nesta dissertação, propõe-se que os *liners* sejam empregados como uma barreira de contenção do necrochorume, evitando assim a contaminação do lençol freático.

A escolha do tipo de *liner* depende do uso a que se destina. Afinal, os efeitos da interação entre o solo e o contaminante podem variar de acordo com o ambiente físico e com a natureza química do fluido percolador. No que tange ao ambiente físico, é essencial levar em consideração as condições geológicas, geoquímicas, pedológicas, ecológicas e climáticas, além da natureza da ocupação da área. Todos esses aspectos devem ser bem conhecidos e quantificados quando da escolha da matéria prima do *liner*. A taxa de infiltração e o tempo de duração do projeto também devem influenciar essa decisão (FOLKES *apud* LEITE 1998,).

De acordo com Boff (1999), um *liner* tem que ter espessura de 1 metro a 1,5 metro para impedir que resíduos orgânicos contaminem o entorno. Além disso, sua condutividade hidráulica não deve aumentar sob a ação dos fluidos contaminantes. No caso de efluentes perigosos, como o necrochorume, o solo deve ter no mínimo 10% de argila e o lençol freático deve estar a 1 metro de profundidade em relação à base do *liner*.

O elemento inferior do sistema de *liner* combinado deve consistir de 1,5m de solo compactado em camadas de 250mm, com permeabilidade de 5×10^{-10} m/s. Imediatamente acima desse solo, deve ser instalada uma camada de polietileno de alta densidade, com espessura mínima de 2,5mm (geomembrana). Essa geomembrana precisa ser protegida, conforme indica seu certificado de garantia.

No caso da vila, pode ser necessário estabilizar o solo antes de instalar os *liners*. Para tanto, é importante adicionar argila para atingir a condutividade hidráulica adequada. Para que o solo fique bem compactado, é importante adicionar betonita. Esse material apresenta condutividade adequada, é resistente às influências químicas dos percolados no longo prazo e tem alto potencial de retenção de contaminantes (DANIEL, 1993).

Depois de concluídas essas medidas, é hora de aplicar o solo-cimento, uma mistura resultante da combinação entre solo, cimento e água. Essa mistura divide-se em duas categorias: solo cimento-plástico e compactado. No solo-cimento plástico, a água é adicionada até atingir a consistência de plástico, algo semelhante à argamassa de esboço. Já no solo-cimento compactado, a água é adicionada até que se obtenha o máximo de compactação (RIBEIRO, 2002). No caso deste estudo, o ideal é usar o de compactação.

Aliado ao solo-cimento compactado, é recomendável utilizar solo-cal nas medidas sugeridas por Rizzo & Lollo (2006). Segundo eles, os teores de 7% de cimento e 8% de cal em massa proporcionam uma boa redução da condutividade hidráulica com o menor consumo possível de estabilizante. Também nesse caso, o grau de compactação mínimo dos corpos de prova é de 95%.

Além disso, o nível de condutividade hidráulica obtido com a compactação é ideal para o uso de *liners*, porque viabiliza a utilização de solos arenosos como barreiras de proteção. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland

(ABCP), solos arenosos são fáceis de estabilizar junto ao cimento. Porém, é necessário dedicar uma atenção maior a seu processo de compactação.

De acordo com Segantini (1994), a quantidade de cimento da dosagem deve levar em conta as características do solo, o teor de umidade e a densidade obtida através do processo de compactação. É importante conduzir um ensaio experimental antes de implantar o cimento. Isso é feito quando misturamos cimento e solo até chegarmos à estabilidade ideal. Esse ensaio revelará o menor teor capaz de estabilizar o solo sob a forma de solo-cimento. São necessários sete dias para obter o teor adequado de cimento. Em geral, esse teor varia entre 5% a 15% (ABCP, 1986).

Vale lembrar que a camada impermeabilizante deve ser instalada a 2,5 metros do lençol freático, sendo que 1,5 metro é de camada compactada. O *liner* deve ser instalado ao redor de todo o cemitério e exigirá manutenção a cada dez anos.

Como não foram detectados estudos sobre a contenção de necrochorume em cemitérios, esta dissertação tomou como ponto de partida as semelhanças entre o necrochorume e o chorume do lixo hospitalar. Como a comunidade-alvo é pequena, a quantidade de mortos por ano não ultrapassa o máximo de vinte. Portanto, a comparação com o lixo hospitalar deve ser suficiente para a elaboração de medidas que evitem a contaminação do lençol freático.

Cabe ressaltar que a instalação do *liner* deve ser acompanhada de outras medidas, como a construção do poço em uma área mais elevada que a fonte de contaminação. Alternativas como drenagem e tratamento do necrochorume foram descartadas tendo em vista as condições econômicas menos privilegiadas do local investigado.

Vale reforçar que o sucesso de qualquer uma dessas medidas depende inexoravelmente de que a comunidade aceite remover temporariamente os restos mortais já existentes na área do cemitério na ocasião da instalação da barreira de isolamento. As sobras do material do *liner* podem ser usadas na fossa sanitária, no criadouro de animais ou na estabilização do novo poço de captação de água.

4.2.3.2

Utilização de camada de geomembrana

Também conhecidas como sistemas de captação e desvio de fluxo (SCDF), as geomembranas são barreiras impermeabilizantes sintéticas, de elevada resistência físico-química e baixa condutividade hidráulica. Elas são aplicadas no solo em sistemas de confinamento basal para prevenir a migração de líquidos percolados para o solo ou para a água subterrânea. As geomembranas também são empregadas em sistemas de cobertura a fim de controlar a infiltração das águas superficiais e evitar a migração não controlada de gases (REBELO, 2009).

Como são suscetíveis a defeitos, as geomembranas não devem ser o único mecanismo de proteção, sendo imprescindível contar com um sistema mais completo de isolamento. A proposta do presente trabalho é que a geomembrana seja utilizada em conjunto com o *liner* formado por solo-cimento-cal, mencionado anteriormente.

Atualmente, as geomembranas mais utilizadas no mercado são feitas de PVC (P, PELMD e PEAD). No contexto-alvo desta dissertação, recomenda-se utilizar a geomembrana de PEAD (Polietileno de Alta Densidade), uma vez que ela permite soldas resistentes do ponto de vista mecânico e hidráulico. Além disso, as geomembranas de PEAD são mais duráveis e tem uma resistência física e química superior às demais (LOPES, 2006). A instalação deve ser feita seguindo detalhadamente o manual de instalação para não haver rompimentos nem danos à geomembrana. É importante sublinhar que a instalação é a fase que oferece maior risco de danos ao material.

4.2.4

Manejo dos dejetos da criação de animais

O manejo da criação de animais só será adequado se houver o devido cuidado com os dejetos dos animais. Por isso, é essencial demarcar áreas para a criação dos animais domésticos, por meio da construção de pequenos canis, pocilgas e granjas. Existem diversas maneiras de gerenciar os dejetos produzidos.

Porém, algumas não são compatíveis com as limitações impostas pela falta de recursos dos moradores da ilha de Tanahbala. Alternativas como o separador de sólidos (peneiras) e o decantador de palhetas destacam-se pela eficiência, mas são inviáveis na realidade estudada nesta dissertação. Afinal, exigem tecnologias de alto custo.

Já as esterqueiras ou bioesterqueiras despontam como opção adequada para a população de Tanahbala. Além de oferecer um custo baixo, esses equipamentos são fáceis de manusear. Cabe ressaltar que o tempo de armazenamento dos dejetos deve ser de aproximadamente 120 dias. Durante esse período, a matéria orgânica é estabilizada e os microrganismos patogênicos, desativados. A compostagem também é uma alternativa que merece ser considerada. Trata-se de um processo capaz de reduzir o odor e diminuir a proliferação de vetores, além de agregar valor aos dejetos, transformando-os em adubos. Porém, é necessário assegurar o manejo adequado da umidade, da aeração e da temperatura.

É importante assinalar que o fluxo de água da chuva deve ser desviado dos locais de criação de animais domésticos, impedindo que se misture aos dejetos. Para tanto, devem ser tomadas algumas medidas simples, como aumentar a largura do beiral das edificações, dimensionar os canais externos cuidadosamente, implantar um sistema de drenagem no entorno dos depósitos de dejetos e elevar o nível de base dos depósitos. Se tomadas em conjunto, essas medidas podem por um ponto final à contaminação hídrica por dejetos de animais domésticos (VOTTO, 1999).

4.2.5

Drenagem

Em geral, nos assentamentos populacionais, um dos principais desafios é a criação de um sistema de drenagem eficiente. Em primeiro lugar, é importante destacar a dificuldade de dar conta das águas pluviais que se acumulam sobre a superfície, por conta da capacidade de solo de reter essa água. Quando a drenagem não é eficiente, a população é submetida a diversos percalços, como a ocorrência de inundações e alagamentos. Também vale sublinhar os problemas de

saúde gerados pelo acúmulo de água: leptospirose, diarreia, febre tifoide e malária são doenças que se proliferam rapidamente quando a drenagem não é feita de maneira adequada. Além disso, quanto mais úmido o solo, maior o tempo de vida dos microrganismos. Logo, a drenagem constitui uma ferramenta importante para reduzir a contaminação do solo por esses patógenos.

Para assegurar o desenvolvimento de um sistema de drenagem apropriado, é de suma importância realizar estudos entomoepidemiológicos detalhados, que ajudem a identificar os locais mais propensos à proliferação dos vetores. Dessa forma, torna-se mais fácil planejar um esquema de drenagem para mitigar a ocorrência de surtos das doenças transmitidas por esses vetores.

Em Tanahbala, a drenagem deve visar à desobstrução dos cursos d'água dos riachos e valas, bem como à eliminação dos criadouros de vetores, o que contribui para o combate à malária e outras doenças transmitidas através da água. Recomenda-se, então, a implantação de um sistema de microdrenagem, que combine três modalidades: superficial, subterrânea e vertical.

A drenagem superficial é apropriada em terrenos planos, dotados de uma superfície sustentável e um subsolo saturado, como o de Tanahbala. Esse tipo de drenagem impede o encharcamento do terreno e evita a saturação prolongada do solo, pois acelera a passagem da água. Dessa forma, o acúmulo de lama nas valas e riachos reduz consideravelmente. A implantação de uma drenagem superficial inclui:

- a preparação da superfície do solo;
- a melhoria do escoamento das águas e;
- a construção de valas adequadas.

Paralelamente, é necessário colocar em prática uma drenagem subterrânea, capaz de fazer com que o lençol freático desça até o nível do mar. Graças a esse tipo de drenagem, é possível diminuir a saturação do solo de Tanahbala em sua camada superficial.

A drenagem vertical também é indicada para o caso em estudo. Ela costuma ser aplicada em terrenos planos, como pântanos e marismas, onde a falta de declive dificulta a drenagem da água. Terrenos assim apresentam uma capa

superficial encharcada, sob a qual existe uma camada impermeável, que impede a infiltração. Nesses casos, o escoamento das águas superficiais é feito através de poços verticais, preenchidos com pedras de mão ou areia grossa – que aumentam sua estabilidade. Convém tomar precauções para que esse tipo de drenagem não favoreça a contaminação das águas subterrâneas. A elevação mecânica – que requer o auxílio de bombas – foi descartada devido à falta de energia elétrica na vila estudada.

Por último, vale mencionar algumas medidas brasileiras de manutenção que podem ser reproduzidas na vila de Tanahbala para combater a malária. Essas medidas podem ser divididas em quatro grupos:

- Retificação de canais: facilita a movimentação rápida das águas e dificulta o ciclo biológico do mosquito.
- Limpeza manual: deve ser executada no leito e nas margens das valas, incluindo o desmatamento de árvores de pequeno e médio porte. Isso permite escoar a água com mais facilidade e aumentar a incidência de raios solares no local, favorecendo a evaporação. Também devem ser removidos os obstáculos naturais ou artificiais que dificultem a passagem da água e formem poças.
- Aterro: trata-se de um procedimento simples e eficaz que elimina os criadouros de insetos. É importante aterrar depressões, escavações, bem como buracos grandes e pequenos, sempre que for verificado seu potencial como criadouro de insetos.

4.2.6

Soluções de saneamento

Em Tanahbala, os moradores escavam uma área de 12m^2 , onde lançam todo o lixo produzido na vila a uma profundidade de 1m (volume de 12m^3). A fim de reduzir a umidade, o odor e o volume, é comum incinerar o lixo antes de reaterrá-lo. Tendo em vista as limitações do local, a incineração é, por si só, um avanço importante. Porém, ela não é o bastante para garantir um saneamento ideal. Para chegar a um esquema de saneamento mais completo, é preciso colocar em prática soluções que evitem a poluição do solo e das fontes de abastecimento

de água, bem como impedir que os vetores entrem em contato com as fezes. Além disso, é imprescindível promover novos hábitos de higiene na população para melhorar a qualidade de vida e a aparência do local. O Quadro 6 sintetiza as principais doenças provocadas pela falta de saneamento e higiene.

Quadro 6 – Doenças transmitidas pela contaminação da água e do solo.

| Doença | Transmissão | Medidas |
|---|---|--|
| Bactéria: febre tifoide, paratifoide, cólera e diarreia aguda. | Fecal-oral em relação à água. | Abastecimento de água (implantação ou aperfeiçoamento do sistema). |
| Vírus: hepatite A e E, poliomielite e diarreia aguda. | | Imunização, melhora da qualidade da água e desinfecção. |
| Protozoário: diarreia aguda e toxoplasmose. | | Implantação e manutenção das instalações sanitárias. |
| Helmintos: ascaridíase, tricuriase e ancilostomíase. | Fecal-oral em relação ao solo. | |
| Esquistossomose | Contato da pele com a água contaminada. | |
| Teníase | Ingestão de carne mal cozida. | |
| Cisticercose | Fecal-oral em relação a alimentos contaminados. | Higiene dos alimentos |

Fonte: Adaptado de: FUNASA. **Manual de saneamento**. Brasília: Departamento de Engenharia de Saúde Pública, 2006.

No Brasil, as instalações de subsistemas servem para coletar e transportar o esgoto, bem como para ventilar os gases gerados, levando-os para atmosfera e evitando sua retenção no ambiente sanitário. Aqui, os sistemas prediais de esgoto sanitário contam com aparelhos providos de desconectores, que possuem um fecho hídrico para vedar a passagem de gases no sentido oposto ao deslocamento do esgoto. Esse sistema deve dispor de coletores, subcoletores, ramais e colunas de ventilação. Quando incorporados em conjunto em uma residência, tais aparelhos melhoram a qualidade habitacional interna. Nesta dissertação, acredita-se que esse sistema surtiria efeitos positivos nas casas da vila.

A dimensão do sistema pode ser calculada por meio de um método probabilístico. Uma das maneiras de fazer esse cálculo é o fator numérico conhecido como Unidade Hunter de Contribuição (UHC). Essa unidade é

frequentemente utilizada nos cálculos brasileiros. Ela considera a função da utilização habitual de cada tipo de aparelho sanitário.

Com base nas normas da ABNT (1990, 1993, 1997, 1999), foram feitos cálculos para dimensionar um possível sistema de saneamento para as casas da vila de Tanahbala. O ideal seria contar com normas elaboradas a partir de dados locais. Porém, como não há normas disponíveis, a presente dissertação lançou mão do arcabouço brasileiro de normas para dimensionar um tanque séptico, um filtro anaeróbio e valas de infiltração que possam compor o sistema de esgoto da vila estudada.

O primeiro passo para criar um sistema de tratamento do esgoto bruto em Tanahbala é o dimensionamento de um tanque séptico. De acordo com a NBR 7229 (1993), o tamanho do tanque deve ser calculado a partir da seguinte fórmula:

$$V = 1000 + N (CT + KLf), \text{ onde:} \quad \text{form.(2)}$$

- V = volume útil, em litros;
- N = número de pessoas ou unidades de contribuição;
- C = contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia;
- T = período de detenção;
- K = taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco
- Lf = contribuição de lodo fresco, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia.

Esse cálculo parte do pressuposto que o intervalo de limpeza equivale a um ano e que a temperatura no mês mais frio oscila entre 25°C e 30°C. Além disso, o cálculo leva em conta o número de pessoas que devem ser atendidas, bem como o consumo total de água. Quando há ocupantes temporários e permanentes em uma casa, a vazão total é obtida com a soma das vazões correspondentes a cada tipo de ocupante. Basta consultar a NBR 7229 para verificar os valores que

representam a contribuição diária de esgoto (C) e o lodo fresco (Lf) produzido por cada tipo de edificação e ocupante.

De acordo com a contribuição diária de esgotos, a NBR 7229 determina um tempo de detenção ideal do afluente no tanque séptico. O intervalo de limpeza de um tanque séptico deve ser fixado de antemão. Em função da temperatura média do mês mais frio, é possível calcular o valor da taxa de acumulação total de lodo, que nos permite dimensionar corretamente o tanque.

O formato dos tanques sépticos pode variar: eles podem ser prismáticos, retangulares ou cilíndricos. No entanto, as dimensões desses tanques devem ser compatíveis com as medidas internas mínimas estabelecidas pela NBR 7229.

- Profundidade útil: varia entre os valores mínimos e máximos recomendados na norma, de acordo com o volume útil obtido mediante a fórmula citada anteriormente;
- Diâmetro interno mínimo: 1,10 m.
- Largura interna mínima: 0,80 m.
- Relação comprimento/largura (para tanques prismáticos retangulares): mínimo 2:1; máximo 4:1.

Em relação ao número de câmaras, os tanques sépticos podem ser de câmara única ou de câmaras múltiplas. O objetivo das câmaras, sejam elas únicas ou múltiplas, é melhorar o desempenho do tanque no que diz respeito à qualidade dos efluentes.

Segundo a NBR 7229, os tanques sépticos devem apresentar as seguintes distâncias horizontais mínimas:

- 1,50m de construções, limites de terreno, sumidouros, valas de infiltração e ramal predial de água.
- 3,0 m de árvores e de qualquer ponto da rede pública de abastecimento de água.
- 15,0 m de poços freáticos e de corpos d'água da natureza.

As dimensões para tanque séptico recomendadas nesta dissertação tomam como ponto de partida os seguintes dados aproximados:

- $N = 15$;
- $C = 100$ litros/unidade x dia;
- $L_f = 1$ litro/unidade x dia;
- $T = 0,92$ dia;
- $K = 57$ dias

Uma vez aplicada à fórmula, é obtido o seguinte resultado:

$V = 1000 + 15 (100 \times 0,92 + 57 \times 1) = 3,23$ litros = adotar $3,5\text{m}^3$ de volume útil

Cabe ressaltar que o tanque séptico deve ter uma profundidade entre 1,2m e 2,2m para dar conta do volume obtido através do cálculo, como indica a NBR 7229 (1993). No caso de Tanahbala, recomenda-se adotar um projeto de instalações hidrossanitárias que inclua uma caixa de gordura antes do ponto em que os efluentes são lançados na rede de esgoto, a fim de não sobrecarregar o tanque séptico com resíduos gordurosos.

Para maior eficiência do sistema, este estudo recomenda que a água passe por um filtro anaeróbio depois de tratada pelo tanque séptico. A perda de carga hidráulica entre o nível mínimo no tanque séptico e o nível máximo no filtro anaeróbio é de 0,10m. Pode ser utilizado um ou mais filtros anaeróbios para cada tanque séptico. Em Tanahbala, o ideal é lançar mão de dois filtros para um tanque séptico. Esse filtro anaeróbio é uma unidade de tratamento de esgoto que afoga o meio biológico filtrante. De acordo com a NBR 13969 (1997), as dimensões do filtro devem ser estabelecidas por meio da seguinte fórmula:

$V_u = 1,6 NCT$, onde: form.(3)

- V_u = volume útil, em litros;
- N = número de pessoas ou unidades de contribuição;
- C = contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia;
- T = período de detenção, em dias.

Já a altura total do filtro anaeróbio é obtida pela equação:

$$\mathbf{H = h + h1 + h2, \text{ onde:}} \qquad \qquad \qquad \mathbf{eq. (1)}$$

- H = altura total interna do filtro anaeróbio;
- h = altura total do leito filtrante;
- h1 = altura da calha coletora;
- h2 = altura sobressalente (variável).

Com base na NBR 13969, o volume útil mínimo do leito filtrante deve ser de 1000 litros. A altura do fundo falso, já incluindo a espessura da laje deve ser limitada a 0,60m, enquanto que a altura do leito filtrante, já incluindo a altura do fundo falso deve ser de no mínimo 1,20m. Nos casos de filtros com fundo falso, é necessário utilizar um tubo guia de 150 mm de diâmetro para cada 3m² de fundo. O diâmetro dos furos deve ser de 2,5cm, e o número total de furos deve equivaler no mínimo a 5% da área do fundo falso. Para os filtros com distribuição de esgoto através de tubos perfurados, é preciso usar uma inclinação de 1% em direção ao poço de drenagem. O diâmetro dos furos deve ser de 1,0cm, com variação de aproximadamente 5%.

A distribuição de esgoto afluyente no fundo do filtro anaeróbio deve ser feita de maneira semelhante à proposta no Anexo 7. O filtro anaeróbio em Tanahbala deve ter entre 1,2m a 2,2m de profundidade, ao passo que o volume deve ser de 2,4 m³, como mostra o cálculo abaixo:

$$V = 1,60NCT = 1,60 \times 15 \times 100 \times 0,92 = 2208\text{litros} = 2,4\text{m}^3$$

Uma vez filtrado, o esgoto pode ser conduzido às valas de infiltração. Essas valas são cavadas no solo e preenchidas com meios filtrantes. Elas são formadas por caixas de distribuição, caixas de inspeção, tubulação perfurada – assentada sobre a camada-suporte de pedra britada. Trata-se de um sistema de distribuição do efluente que orienta sua infiltração no solo. Esse sistema composto por valas é capaz de depurar e mineralizar o esgoto. Dessa forma, ele é disposto de maneira segura no solo, o que evita a contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

O primeiro passo para o dimensionamento da vala de infiltração é verificar a capacidade de absorção do solo. Nessa etapa, são levadas em conta algumas

características importantes. No caso de Tanahbala, o solo é formado por areia. A granulometria do solo determina o movimento da água através das partículas que o formam. Quanto maiores as partículas do solo, maiores os poros e, portanto, maior a velocidade de absorção.

O coeficiente de infiltração é obtido por meio do teste de absorção do solo. Ele representa o número de litros que 1m² de área de infiltração do solo consegue absorver em um dia. O coeficiente de infiltração varia de acordo com o tipo de solo, conforme indicado no Quadro 7.

Quadro 7 – Tipos de solo.

| Tipos de solo | Coefficiente de infiltração (litros/m ² x dia) | Absorção relativa |
|--|---|-------------------|
| Areia bem selecionada e limpa, combinando areia grossa e cascalho. | Maior que 90 | Rápida |
| Areia fina ou silte argiloso ou solo arenoso com humos e turfas variando a solos constituídos predominantemente de areia e silte. | 60 a 90 | Média |
| Argila arenosa e/ou siltosa, variando a areia ou silte argiloso de cor amarela, vermelha ou marrom. | 40 a 60 | Vagarosa |
| Argila de cor amarela, vermelha ou marrom medianamente compacta, variando a argila pouco siltosa e/ou arenosa. | 20 a 40 | Semipermeável |
| Rocha, argila compactada de cor branca, cinza ou preta, variando a rocha alterada e argila medianamente compacta de cor avermelhada. | Menor que 20 | Impermeável |

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

Com o valor do coeficiente de infiltração em mãos, é possível calcular a área da vala através da seguinte fórmula:

$$A = V/C_i$$

form.(4)

Em encaminhamentos futuros, pretende-se verificar o coeficiente de infiltração do solo em Tanahbala para projetar uma vala que atenda às peculiaridades do local.

5

Conclusão

No início desta dissertação, foi discutido que a água tem deixado de ser vista como um recurso abundante, convertendo-se em um bem escasso e cada vez mais cobiçado. Contraditoriamente, não são poucos os casos de contaminação e desperdício da água.

Diante desses problemas, tornou-se imperativo desenhar soluções capazes de otimizar o uso desse recurso, hoje, tão escasso. É justamente este o objetivo da presente dissertação. A partir do problema de abastecimento na remota vila em Tanahbala, este trabalho criou algumas alternativas para a gestão dos recursos hídricos no local. No contexto estudado, o principal desafio a ser vencido diz respeito ao abastecimento e à qualidade da água. Entre as causas desses problemas, merece destaque a contaminação causada pelo esgoto doméstico, pela criação desordenada de animais e pela proximidade de cemitérios.

Tendo em vista as peculiaridades da ilha, este estudo privilegiou soluções que possam garantir o fornecimento de água potável e evitar a contaminação por vetores e microrganismos patogênicos. Cabe ressaltar as seguintes opções: realocação dos poços para captação de água, cisternas para captação de água da chuva, utilização de *liners* e camada de geomembrana, manejo dos dejetos da criação de animais, drenagem e soluções de saneamento.

Embora seu ponto de partida seja um caso específico, o presente estudo debruça-se sobre um problema contemporâneo e generalizado, que tem comprometido a qualidade de vida de milhões de pessoas pelo globo. Espera-se que, com base nos resultados aqui descritos, seja possível lançar os alicerces que contribuam para a edificação de alternativas capazes de assegurar a qualidade de vida e o acesso à água a todo cidadão.

Em estudos futuros, pretende-se realizar uma pesquisa geofísica para aferir o potencial de intrusão salina, a profundidade dos aquíferos existentes, o nível da água e a quantidade de necrochorume infiltrado. Posteriormente, também se faz necessária a instalação de poços de monitoramento multiníveis para avaliar

parâmetros hidrogeológicos, tais como o coeficiente de infiltração do solo em Tanahbala. Além disso, será importante coletar amostras de solo e água subterrânea (ou do mar) e caracterizar a hidrogeoquímica local. É igualmente imprescindível avaliar eventuais riscos associados à concentração dos compostos químicos de interesse identificados, assim como estimar a relação entre gasto e eficiência da proposta de intervenção. Comparações com favelas e outros locais de grande densidade demográfica também podem ser úteis para se compreender melhor a realidade de Tanahbala à luz de outros contextos. Por último, convém sublinhar que os benefícios dessas iniciativas serão ínfimos se não acompanhados de um programa de educação ambiental para orientar a população local no que tange ao risco de contaminação dos recursos naturais, em especial, da água subterrânea.

Referências bibliográficas

ALCARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A.; LOPES, A.S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. São Paulo: Anda, 1989.

ALMEIDA, F.R.; ESPÍNDULA J.C.; VASCONCELOS, U. & CALAZANS G.M.T. Avaliação da ocorrência de contaminação microbiológica no aquífero freático localizado sob o cemitério da várzea em Recife-PE. **Águas subterrâneas** 20: 19-26. 2006.

ALOISI SOBRINHO, J. **Adubação orgânica na produção de fertilizante**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento**: Normas de Dosagem e Métodos de Ensaio. São Paulo: ABCP, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11799**: material filtrante – areia, antracito e pedregulho. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160**: sistemas prediais de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1999.

BALDISSERA, I.T. **Utilização do esterco de suínos como fertilizantes**. Chapecó: EMPASC, 1991.

BEM PÚBLICO. **Cisternas melhoram a vida do semiárido**. Disponível em: <http://www.bempublico.com.br/materias/materiaVer.php?materiaID=2828&editorialID=1>. Acesso em: 5 abr. 2011.

BARBIERI, J.C. **Gestão ambiental empresarial**. São Paulo: Saraiva, 2007.

BOFF, F.E. **Estudo da seletividade iônica na interação solo contaminante aplicado a liners**. São Carlos: EESC/USP. Seminário (Seminários Gerais em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.

BRANDJES, P.J.; WIT, J.; MEER, H.G. **Livestock and environment: finding a balance**. Wageningen, 2006.

BROWN, C. **Uma pequena história da Indonésia: uma única nação?** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

CHATEAUBRIAND, A.D. et al. Efeito de dejetos de suínos, aplicados em irrigação por sulco, na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v.36, n. 205, p. 264-277, 1989.

CIVITA, R. **Almanaque Abril 2010**. São Paulo: Abril, 2010

DANIEL, D.E. **Geotechnical practice for waste disposal**. Nova York: Chapman & Hall, 1993.

DIESEL, R.; MIRANDA, C.R.; PERDOMO, C.C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA, 2002.

EMBAIXADA DA INDONÉSIA NO BRASIL. **Dados geopolíticos, populacionais e históricos sobre a Indonésia**. Disponível: <www.embaixadaindonesia.org/indonesia.html>. Acesso em: 8 set. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA – CNPSA. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia, 2005.

ESREY, S.A., GOUGH, J., RAPAPORT, D., SAWYER, R., SIMPSON-HÉBERT, M., VARGAS, J., AND WINBLAD, U. **Ecological sanitation**. Estocolmo: Swedish International Development Cooperation Agency, 1998.

FELICIONI, F. **A ameaça dos mortos: cemitérios põem em risco a qualidade das águas subterrâneas**. São Paulo: Maxprint, 2007.

FRANÇA FILHO, J.U.; WEBER, O.L.S.; VECCHIATO, A.B.; LAMBERT, J.A. **Segurança ambiental e do trabalhador na usina de tratamento de resíduos sólidos urbanos do município de Cuiabá - MT**. Engenharia Ambiental, v.3, n.2, p.107-120. Espírito Santo do Pinhal, Mato Grosso, 2006.

FUNASA. **Manual de saneamento**. Brasília: Departamento de Engenharia de Saúde Pública, 2006.

GILBERTO, G. Algumas notas sobre cultura e ambiente. In: TRIGUEIRO, A. (Org.). **Meio ambiente no século 21**. Campinas: Armazém do Ipê (autores associados), 2005. p. 45-57.

GUIVANT, J.S. Conflitos e negociações nas políticas de controle ambiental. In: JIELHL, E.J. **Manual de edafocologia: relações solo-planta**. São Paulo: Agrônômica Ceres, 1979, p. 264.

HALLIDAY, J.,; CHANG, J.M. **A história desconhecida**. São Paulo: Companhia das Letras, 2006.

HOWARD, G.; BARTRAM, J.; PEDLEY, S.; SCHMOLL, O.; CHORUS, I.; BERGER, P. Groundwater and public health. In: **Protecting groundwater for health: managing the quality of drinking-water sources**. SCHMOLL, O.;

HOWARD, G.; CHILTON, J.; CHORUS, I. (Org). Londres: IWA Publishing, 2006.

HUNTER, P.R.; CHALMERS, R.M.; HUGHES, S. & SYED, Q. Selfreported diarrhea in a control group: a strong association with reporting of low-pressure events in tap water. **Clin Infect Dis** 40(4), p. 32-34, 2005.

JORDAN, I. Os recursos hídricos nos ecossistemas rurais. **Cadernos de Economia Agrícola**, Florianópolis, v. 11, 60p. 1992.

JUSTE, C. Effects of animal effluent applications on soil behavior. In: **European Conference Enviroment, Agriculture, Stock Farming in Europe**, p. 1-28, 1991.

KETELAARS, J.J; MEER, H.G. **Perspective for improving effiience of nutrient livestok production in the Netherlands**. Spporo: Kikanshi Insantsu, p. 159-164, 1998.

KIEHL, E.J. **Preparo do composto na fazenda**. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Oueiroz", 1988.

KOSEN, E.A. **Manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPAS, 32p, 1983.

KOSEN, E.A. et al. **Manejo do esterco líquido de suínos e sua utilização na adubação do milho**. 2º Edição; EMBRAPA-CNPMS, 31p,1998.

LEITE, J.C. **Avaliação de materiais inconsolidados para o uso em liners**. Revisão Bibliográfica. SGS-EESC-USP, São Carlos, São Paulo, 1996.

LEITE A.L.; PARAGUASSU, A.B.; ZUQUETTE, LV. K+ and Cl- diffusion in compacted tropical soils: a liner usage perspective. In: **Congress of the international association for engineering geology and the environment**. IAEG, Vancouver, v. 6, p. 2505-2512, 1998.

LOPES, P. Análise dos métodos de controle de integridade de geomembranas de PEAD usadas em aterros de RSU. **Revista Geotecnia**, n. 106, p. 107-131. São Paulo. 2006.

MACEDO, J.A.B. **Águas & Águas**. Belo Horizonte: CRQ-MG. 2004.

MARAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 528p, 2006.

MELO, D.B.G.; TUDOR, F.; BERNARDINO, V.N. **Relatório do projeto cemitério sustentável**. ETECAP. São Paulo: Governo de São Paulo, 2010.

MIGLIORINI, R.B. **Cemitérios contaminam o meio ambiente**: um estudo de caso. Cuiabá: Universitária, 2002.

MUKHERJEE, N.; SHATIFAN, N. **The CLTS Story in Indonesia: Empowering communities, transforming institutions, furthering decentralization.** Indonesia: 2008.

MOE, C.L.; RHEINGANS, R.D. Global challenges in water, sanitation and health. **Journal of Water and Health.** 04. Suppl. 2006.

OLIVEIRA, P.A. **Manual de manejo dos dejetos de suínos.** Concórdia: EMBRAPA-CNPASA, 37p, 2003.

OLIVEIRA, S.M.A.; VON SPERLING, M. **Sistema de esgotamento estático e seus potenciais impactos nas águas subterrâneas.** Projeto Vida no Vale. Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental. Universidade Federal de Minas. Belo Horizonte. Minas Gerais. 53p. 2007.

PACHECO, A.; MENDES, J.M.B. Cemitérios e Meio Ambiente. **Revista Tecnológica do Ambiente.** Lisboa, Portugal, ano 7, n.33, p.13-15. 2000.

PACHECO, A. **Os cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento.** Revista Sistema de Planejamento para a Administração Metropolitana. Ano 4, n. 17, 1986.

PACIEVITCH, T. **A economia da Indonésia.** Disponível em: <www.infoescola.com/indonesia/economia-da-indonesia/>. Acesso em: 26 fev. 2011.

GOVERNO DA PROVÍNCIA DE SUMATRA NORTE. Pemerintah Provinsi Sumatera Utara. **Dados políticos, geográficos, históricos e populacionais.** Disponível em: <www.sumutprov.go.id/> . Acesso em: 8 set. 2011.

PAIN. B. **Environmentally friendly management of farm animal wastes – an overview.** In: MARSUNAKA, p.259-268, 1998.

PAYMENT, P.; SIEMIATYCKI, J.; RICHARDSON, L.; RENAUD, G.; FRANCO, E. & PREVOST, M. A prospective epidemiologic-study of drinkingwater related gastrointestinal health effects due to the consumption of drinking water. **Int. J. Environ. Hlth Res** 7, p. 5-31. 1997.

PERDOMO, C.C.; LIMA, G.M.; NONES, K. Produção de suínos e meio ambiente. In: **Seminário Nacional de Desenvolvimento da Suinocultura**, 2001. Gramado. Anais, Gramado, p. 25-38, 2001.

PERDORMO, C.C. A água na suinocultura. In: **Ciclo de palestras sobre dejetos de suínos.** Anais, Rio Verde: FESURV, p. 69-80, 1997.

PHANUWAN, C.; TAKIZAWA, S.; OGUMA, K.; KATAYAMA, H.; YUNIKA, A.; OHGAKI, S. Monitoring of human enteric viruses and coliform bacteria in waters after urban flood in Jakarta, Indonesia. **doi:** 10.2166/ wst. 470. 2006.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

POLIT, D.F. & HUNGLER, B.P. **Nursing research: principles and methods**. Philadelphia: Lippincott, 1987.

REBELO, K.M.W. **Avaliação de camadas de proteção para geomembranas de PVC e PEAD**. (Tese de doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 247p. São Paulo. 2009.

RENKEVICH, V.; BEKKER, P.; MURADOV, B.; MIRKAMILOVA, A.; ALIMKULOV, A.; ERMANNATOV, A.; BEIGEMKULV, N.; MISHIVNA, O.; ZHINENKO-ZHILENSKAYA, S.; VAN GILDER, T.; BALLUZ, L. & ROBERTS, L. **Multi-City water distribution system assessment**. USAID/CDC, Kazakhstan. Unpublished report. 1998.

RIZZO, R.P.; LOLLO, J.A. **Capacidade de retenção de barreiras de proteção produzidas com solo arenoso estabilizado quimicamente**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 11, n. 3, Rio de Janeiro, 2006.

SCHERER, E.E.; CASTILHOS, E.G.; JUCKSCH, I. **Efeito da adubação com esterco de suínos, nitrogênio e fósforo em milho**. Florianópolis: EMPASC, 26p, 2004.

SBRT. **Respostas técnicas produzidas pelo serviço brasileiro de respostas técnicas**. Fossas Sépticas. Disponível em: <http://www.sbrt.ibict.br>. Acesso em: 4 abr. 2011.

SCHERER, E.E. et al. **Efeito da adubação com esterco de suínos, nitrogênio e fósforo em milho**. Florianópolis: EMPASC, 26p, 1999.

SEGANFREDO, M.A. **A poluição por dejetos de suínos, o aspecto econômico e o direito público**. Revista Pork World, São Paulo, n. 9, ano 2, p. 42-44, 2002b.

SEGANTINI, A.A.S. **Utilização de solo-cimento em estacas escavadas com Trado em Ilha Solteira -SP**. 176p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola, área de concentração: Construções Rurais) – Faculdade de Engenharia Agrícola– Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2000.

SILVA, V.T.; CRISPIM, J.Q.; GOSH, P.; KUERTEN, S.; MORAES, A.C.S.; OLIVEIRA, M.A.; SOUZA, I.A.; ROCHA, J.A. **Um olhar sobre as necrópoles e seus impactos ambientais**. III Encontro da ANPPAS, Brasília, 2006.

SIMADIBRATA, M.; TYTGAT, G.N.; YUWONO, V.; DALDIYONO, LESMANA, L.A.; SYAM, A.F. et al. Microorganisms and parasites in chronic infective diarrhea. **Acta Med Indones**. v.36, p.211-4. 2004.

SMID, T.C. **'Tsunamis' in Greek Literature**. Londres: Londres University express, p. 100-104. v. 17, 1970.

STOFFELLA, P.J. & KAHN, B.A. **Compost utilization in horticultural cropping systems**. Boca Raton (USA), 432p, 2001

STOREY, M.V. & ASHBOLT, N.J. Enteric virions and microbial biofilms—a secondary source of public health concern? **Water Sci Technol** 48(3), p. 97-104. 2003.

SUBEKTI, D.; LESMANA, M.; TJANIADI, P.; SAFARI, N.; FRAZIER, E.; SIMANJUNTAK, C.; KOMALARINI, S.; TASLIM, J.; CAMPBELL, J.R. and OYOFO, B.A. Incidence of Norwalk-like viruses, rotavirus and adenovirus infection in patients with acute gastroenteritis in Jakarta, Indonesia. **FEMS Immunol. Med. Microbiol.**, 33, p. 27–33. 2002.

SUNDARY, S.A.; PANDA, U.; NAYAK, C.; DINABANDHU, B. **Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variation in water quality of Mahanadi river, estuarine system (India)**. Dept. Chem. SCS Autonomous college, 752001 puni, Orissa, India. 2005.

TAIGANIDES, E.P. **Animal wastes**. London: Applied Science Publishers, 1977.

TEIXEIRA, E.F. **Como se prepara o adubo composto**. São Paulo, Secretaria da Agricultura/ Divisão de Fomento Agrícola, s.d. 4p, 2009.

THEODORSON, G.A. & THEODORSON, A.G. **A modern dictionary of sociology**. London, Methuen, 1970.

TSAI, H.T.; JIANG, D.D.S.; TUNG, H.P.; SU, C.P.; CHIEN, Y.S.; CHUANG, J.H. **A cluster of diarrhea in a tourist group to Bali, Indonesia, 2010**. Taiwan EB v.26, n.20, 2010.

TUNNEY, H.J.; MOLLOY, S. Variations between farms in N, P, K, Mg and dry matter composition of cattle, pig and poultry manures. **Journal of Agricultural Research**, Dublin, v.14, n.1m p. 71-79, 2005. Unicamp, v. 1, n 2, p. 101-123, 1998.

UNICEF & WHO. Meeting the MDG. **Drinking water and sanitation target: a mid-term assessment of progress**. UNICEF/WHO, Geneva, Switzerland. 2004.

VON STERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

VOTTO, A.G. **Zoneamento da poluição hídrica causada por dejetos suínos no extremo oeste de Santa Catarina**. 201 p. Dissertação (Mestrado em Geografia)—Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1999.

WHO. **Leakage management and control: a best training manual**. World Health Organization, Geneva, Switzerland. 2001.

WORLD BANK. **Overview of sanitation and sewerage experience and policy options**. Indonesia, p. 1–18. 2002.

_____. **The health public expenditure review (PER) investing in Indonesia's health: challenges and opportunities for future public spending**, Jakarta. 2008.

_____. Governance Matters VII, **World wide governance indicators update**, June 2008. Disponível em: www.govindicators.org. Acesso em 8 set. 2011.

WSP-EAP, **Economic impacts of sanitation in Southeast Asia**: Summary of a four country study in Cambodia, Indonesia, the Philippines and Vietnam. 2007.

WSSCC **The Campaign**: WASH Facts and Figures. Disponível em: www.wsscc.org/dataweb.cfm?edit_id=292&CFID=13225&CFTOKEN=7020523 3. 2004. Acesso em: 8 set. 2011.