



LIXIVIAÇÃO NATURAL DO NECROPÓ RETIDO NO SUBSOLO DOS CEMITÉRIOS

Geol. Lezíro Marques-, Silva, MSc EC/ES – SPaulo, SP
Universidade São Judas Tadeu – Maio 2012

2300
Si38L
040913



040913

25946

SUMÁRIO

RESUMO	4
ABSTRACT	5
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. METODOLOGIA APLICADA.....	7
3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS LOCAIS.....	9
4. CONSIDERAÇÕES BÁSICAS SOBRE A LIXIVIAÇÃO DOS SOLOS	11
5. ENSAIOS CONDUZIDOS	14
5.1 Coluna de solos.....	14
5.2 Simulação de chuvas	15
6. CONCLUSÃO	18
7. ANEXOS.....	21
7.1 Locação da área-objeto.....	22
7.2 Excerto da imagem de satélite	23
7.3 Excerto do mapa geológico regional.....	24
7.4 Coluna geológica regional	26
7.5 Curva de Distribuição Granulométrica do Solo da área-objeto	27
7.6 Locação das sondagens geológicas e do dispositivo para estimar a percolação de água no subsolo	28
7.7 Ilustração do processo natural de aporte indireto dos exsudatos cadavéricos no aquífero.....	29
7.8 Esquema construtivo das colunas de solo utilizadas na pesquisa	30
7.9 Esquema construtivo do simulador de chuvas utilizado na pesquisa.....	31
7.10 Gráfico da exsudação do necrochorume de cadáveres adultos na RMSP.....	32
7.11 Gráfico da geração do necropó residual da secagem natural dos “quanta diários” do necrochorume de cadáveres adultos da RMSP	33
7.12 Gráfico da formação cumulativa do necropó da secagem do necrochorume de cadáveres adultos na RMSP.....	34
7.13 Gráfico da secagem do necropó recém-formado.....	35
7.14 Gráfico da secagem das “quanta diários” do necrochorume de cadáveres adultos entumulados na RMSP	36
7.15 Gráfico da formação do necropó a partir da secagem dos “quanta diários” do necrochorume de cadáveres adultos na RMSP.....	37
7.16 Gráfico da redução da comunidade microbiológica com a profundidade atingida pela percolação no solo	38
7.17 Gráfico do teor de substâncias orgânicas degradáveis no necropó resultante da secagem dos “quanta diários” do necrochorume de cadáveres adultos na RMSP ..	39
7.18 Gráfico da análise granulométrica de necropó ensaiado	40
7.19 Gráfico do ensaio de lixiviação do necropó obtido em sepulturas de cadáveres adultos inumados, com água destilada (“branco de prova”), na RMSP	41

7.20 Gráfico do ensaio de lixiviação do necropó obtido em sepulturas de cadáveres adultos inumados, com água destilada ("branco de prova"), na RMSP	42
7.21 Gráfico da capacidade de depuração natural dos maciços de solos do Brasil.	43
7.22 Ábaco da vulnerabilidade hidrogeoambiental dos maciços geológicos à percolação da água contendo poluentes, infiltrada no solo	44
7.23 Gráfico do ensaio de lixiviação dos grumos de necropó, utilizando a água da rede municipal do cemitério-objeto, em coluna de solos	45
7.24 Gráfico do ensaio de lixiviação dos grumos de necropó, utilizando a água da rede municipal do cemitério-objeto, no simulador de chuvas.....	46
7.25 Gráfico do ensaio experimental da dissolução total do necropó, pela lixiviação com água potabilizada da rede da SABESP	47
7.26 Gráfico do ensaio da variação da densidade do necropó, em fase de secagem natural	48
7.27 Gráfico do ensaio de reidratação do necropó seco, com água destilada	49
7.28 Gráfico da variação dos teores do necrochorume dissolvido na água freática em função do afastamento da sepultura-objeto.....	50
7.29 Documentário Fotográfico	51
7.30 Infográfico ilustrativo da decomposição de corpos	55

RESUMO

Nesse estudo dirigido pesquisa-se a dissolução e a redeposição consecutiva das massarocas do necrópó, retidos no solo do entorno imediato das sepulturas disponibilizadas para os ensaios de campo. Em paralelo, no laboratório, foi conduzida uma série complementar de ensaios, em colunas de solos.

No cemitério municipal foi utilizado um dispositivo simulador de chuvas, o qual demonstrou ser bastante eficiente.

A remobilização dos grumos do pó residual da secagem do necrochorume extravasado da sepultura do corpo inumado, paulatinamente, aprofundou-se na vertical local, até os solutos atingirem o aquífero freático subjacente, pela lixiviação intermitente de cada evento pluviométrico simulado. Em termos microbiológicos, a carga bacteriológica foi totalmente anulada e neutralizada, após uma percolação da ordem de 1,20 metros. Em termos toxicológicos, nenhuma carga indesejável aportou no lençol freático, haja visto a biodegradação global da parcela orgânica e a mineralização inócua da parcela inorgânica solúvel.

ABSTRACT

In this specific study we researched the dissolution and the redeposition of the clustered necrodust, retained in the soil mass of the selected grave, in a municipal cemetery of S. Paulo Metropolitan Region. In parallel, was carried out some essays, including the use of soil column devices.

We used too a rain simulator device, very efficient for the aimed wishes. The outcomes of it performance were very auspicious.

The clustered necrodust, created by the necroleachate proceeding from the decomposition of adult corpse inhumated in the grave, gradually deepened along the vertical sense toward the underlying phreatic level, as a result of the washing promoted by the infiltration of rain water (here simulated by the used device).

Under the microbiological view, the bacteriological vectors were totally nullified by the percolation (about 1,20 meters). In terms of toxicological approach, none of bacteriological lots reached the phreatic aquifer, in function os the biodegradation of organic parcel and the mineralization of the soluble inorganic parcel of necrodust.

1. INTRODUÇÃO

Uma das dúvidas mais freqüentes entre os pesquisadores ambientais, é aquele do comportamento do material pulvulento aglomerado, residual da secagem natural do necrochorume extravasado das sepulturas para o solo, o chamado “necropó”.

Em trabalhos anteriores abordamos o assunto e analisamos genericamente o fenômeno das lavagens sucessivas dos grumos de necropó, pelas águas pluviais infiltradas no maciço de solos e percolantes rumo ao aquífero livre subjacente (“lençol freático”), tendo como laboratório o Cemitério Municipal da Saudade, em Itu, SP.

Neste trabalho, o fenômeno foi analisado com maiores detalhes qualitativos e quantitativos, incluindo a simulação de chuvas com dispositivo similar àquele desenvolvido pela EMBRAPA e pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, MG (Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos).

Contamos também com a preciosa colaboração das empresas especializadas Eco-Engeo Soluções Ambientais Ltda. (Itu, SP), Tellus Soluções Ambientais Ltda. (Sorocaba, SP) e Acquasys - Laboratório de Análises Ambientais Ltda. (Itu, SP), às quais agradecemos.

2. METODOLOGIA APLICADA

Os estudos foram conduzidos de conformidade com os procedimentos usuais de Geologia Sanitária e Hidrogeologia Aplicada, devidamente adequados à casuística local.

Foram executadas seis (6) sondagens geológicas a trado manual de 6,0 polegadas (152,40mm), com profundidade de investigação de 5,00 metros. Estas sondagens foram providas de um revestimento superficial (“tubo de boca”) de PVC rígido, diâmetro de 6,0 polegadas (152,40mm), comprimento de 0,60m (para estabilizar geotécnicamente o leito mais superficial do solo, instável e aluente). Nelas foram conduzidos ensaios de infiltração ou de absorção de água pelo solo, na metodologia que desenvolvemos na Universidade São Judas Tadeu, S. Paulo, para a determinação das capacidades de infiltração e das permeabilidades médias do solo.

Com o material pedológico obtido nas sondagens geológicas, devidamente seco e quarteado, em obediência estrita a respectiva norma técnica da ABNT, foram determinadas as curvas de distribuição granulométrica, a faixa de variação psamítica e a sua curva média representativa. A análise litológica do material pedológico amostrado permitiu a sua caracterização adequada.

Na área-objeto selecionada para o estudo, na RMSP (cemitério municipal), o nível de jazimento do aquífero freático acha-se na profundidade de 6,50 a 7,10 metros (em sua posição piezométrica mais alta no maciço de solos, meses de maio do último quinquênio).

As sondagens foram locadas no entorno imediato da sepultura selecionada para os estudos, na quadra onde detectamos uma ocorrência sintomática de grumos de necrópo no subsolo (quadra onde são sepultados corpos por inumação).

Nos moldes do aparato simular de chuvas do GPRH/UFV citado, montamos um dispositivo para simular as chuvas típicas da região, com intensidade pluviométrica média de 30,00mm/h, utilizando a água potabilizada do sistema SABESP, analisada continuamente pela Agência Ambiental da CETESB local.

O necrópio amostrado foi devidamente analisado em laboratório, mostrando uma composição média concordante com aquela dos trabalhos anteriores citados, ou seja: 55% de água, 33% de substâncias mineralizáveis e 12% de substâncias orgânicas degradáveis. A calcinação deste necrópio revelou a seguinte composição residual: 81% de substâncias mineralizadas e 19% de substâncias variadas não investigadas.

Ao final dos trabalhos de campo, os furos de trado foram desprovidos do seu revestimento superficial termoplástico, desinfectados com uma solução aquosa preparada com hipoclorito de sódio e peróxido de cálcio, sendo posteriormente obturados com uma mistura solo-cimento (foi utilizado o próprio solo escavado pelas perfurações).

A sepultura e o corpo ali depositado, durante todos os trabalhos de campo, não foram tocados e nem sofreram nenhum impacto sanitário-ambiental decorrente do estudo dirigido. Frise-se que o corpo sepultado era de um indigente não identificado, com óbito natural.

CETESB - Companhia Ambiental
do Estado de São Paulo
BIBLIOTECA

3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS LOCAIS

A área-objeto onde foi conduzido o estudo, acha-se inserida no contexto fisiológico-morfoclimático da bacia de São Paulo, na borda oriental do cinturão cristalino pré-cambriano, formado por rochas metamórficas do Grupo Açungui (Proterozóico Superior).

A região, sob a óptica geomorfológica, é eivada por elevações de médio porte, energia média, drenagem no padrão dendrítico, ainda com manchas isoladas da cobertura vegetação original (Mata Atlântica). Os cursos d'água regionais drenam para o rio Tietê e encontram-se poluídos pelo despejo de efluentes domiciliares e industriais "in natura" e a disposição inadequada de resíduos sólidos ("lixo").

O embasamento de metamorfitos acha-se recoberto por um manto de alteração ("regolito") silto-areno-argiloso com fragmentos e grânulos de quartzo aleatoriamente dispersos na massa edafológica. Este regolito tem espessuras muito variegadas, em especial devido a páleo-topografia e páleo-clima imperantes, atingindo possanças de até 30,00m, na região. A densidade média do solo local é de 1,16g/cm³.

O maciço de regolito regional encerra um aquífero livre cuja superfície piezométrica, na vertical da área-objeto, jaz na profundidade de 6,50 a 7,10 m (períodos mais chuvosos do ano → abril e maio). O lençol freático tem um potencial aquífero considerado médio (DAEE, IPT, IGUSP), alimentado pelas águas pluviais (1300mm/ano $\pm$ 108mm/mês) infiltradas no solo, no âmbito da respectiva microbacia hidrográfica, onde o regolito tem uma condutividade hidráulica média da ordem de $2,46 \times 10^{-4}$ cm/s (0,213 m/d), conforme o constatado nos ensaios de infiltração de água nas sondagens geológicas.

Nas amostras de solo analisadas, verificou-se que a porosidade efetiva média é de 30 a 32%, a capacidade de troca catiônica (CTC) é de 38,00meq/100g e o teor de matéria orgânica residual é de 11%.

A vulnerabilidade geológica do maciço de regolito local, à infiltração e à percolação da água infiltrada carreando poluentes e contaminantes, é classificável como média, conforme ilustra o gráfico geoestatístico anexado.

A capacidade de depuração natural do solo local, em função do seu teor de matéria orgânica, granulometria fina, constituição mineralógica rica em

argilas ativas (CTC) e o fluxo percolante lento na zona insaturada (interação hidrogéocquímica boa), é considerada como média a boa, pelo menos para as condições atuais de ocupação e uso do solo, nos entornos imediato e mediato da necrópole municipal. Isto se traduz nos exames microbiológicos realizados, onde não foram encontrados patógenos classe 4 (apenas constatou-se a presença da microfauna e microflora própria de tal biota, mesmo assim com valores UFC/mL baixos → vide gráfico anexado).

4. CONSIDERAÇÕES BÁSICAS SOBRE A LIXIVIAÇÃO DOS SOLOS

O simulador de chuvas utilizado (modelo GPRH/UFV), aspergindo uma vazão distribuída equivalente a chuvas regionais fortes, com intensidade da ordem de 30,00mm/h (30,00L/m²xh), foi muito eficiente no molhamento das áreas de teste (3,00 x 5,00m).

Para verificar a efetividade e a celeridade média da percolação da água infiltrada no solo, foram instalados dois dispositivos com sensores elétricos de 20,00 cm 25,00 cm, até a profundidade de 5,00 m (esquema construtivo em anexo), a montante e a jusante da sepultura (entorno imediato).

Os parâmetros pertinentes a simulação de chuvas, foram estimados pelo modelo agroestatísticos de Green-Ampt modificado por Mein e Larson, como recomendou a Universidade Federal de Viçosa ("Infiltração da Água do Solo", Equipe GPRH, 2010, Editora UFV).

O modelo adotado tem como uma das premissas básicas, o fato de que a infiltração de água no solo é diretamente proporcional a condutividade hidráulica e a saturação do solo pelas águas em trânsito da percolação gravitacional, daí a lixiviação do necrópó retido pelo solo ser diretamente proporcional às condições pedológicas, em especial a permeabilidade, a transmissividade e ao gradiente hidráulico.

Assim, o coeficiente de permeabilidade média, para o caso, dependerá das propriedades do material poroso e as do fluído percolante:

$$Km = \frac{k \cdot \rho a \cdot g}{\mu} \quad (1)$$

Onde:

- Km = Condutividade hidráulica média do solo (L.T⁻¹)
- k = Permeabilidade intrínseca (L²)
- ρa = Massa específica da água percolante (M.L⁻³)
- g = Aceleração da gravidade (L.T⁻²)
- μ = Viscosidade de dinâmica das águas percolantes (M.L⁻¹.T⁻¹)
- $\frac{\rho a \cdot g}{\mu}$ = Fator de fluidez (L⁻¹.T⁻¹)

A permeabilidade intrínseca depende do arranjo geométrico das partículas do solo, as quais determinam a secção transversal útil para o fluxo escoante.

O fator de fluidez é uma relação que depende das características do fluido percolante, as quais são afetadas pela temperatura, pressão e concentração das substâncias solúveis. Dessa maneira, quando a temperatura sofre elevações, a viscosidade é diminuída e, conseqüentemente, a condutividade do meio é aumentada.

Os fluídos com concentrações elevadas de sólidos solúveis podem ensejar alterações na capacidade de infiltração no solo, ocasionada pela colmatação e/ou bloqueio dos espaços porosos e intersticiais do solo. Foi observado que líquidos em percolação gravitacional com mais de 200mg/L de sólidos, não se infiltrarão no solo com taxas idênticas às observadas para a água não carregada (W.R.Detar, ASAE, USA, 1986).

As propriedades químicas da água percolante com lixiviados (composição iônica e condutividade elétrica) também interferem na infiltração, na medida que influem no processo da dispersão das argilas e argilominerais constituintes do meio.

O aumento da condutividade elétrica da água percolante, devido ao aumento da concentração de eletrólitos, acarreta uma redução na dispersão argilosa e no movimento das partículas.

Determinados constituintes dos lixiviados, em especial os cátions monovalentes, quando em concentração relativa elevada, com o passar do tempo podem degradar o solo, em termos físicos. As elevadas concentrações de sódio cambiável, relativamente ao cálcio e magnésio, especialmente quando a concentração salina da água é reduzida, promovem a dispersão dos colóides do solo. O material disperso, por sua vez, sob a ação mecânica da água, orienta-se e migra para o interior dos poros e interstícios, reduzindo a infiltração por obstrução.

Como é fácil deduzir, a movimentação da água percolante no solo, carregada com os lixiviados de materiais nele retidos, depende diretamente da condutividade hidráulica na zona de transmissão (zona insaturada do solo), rumo ao aquífero livre (lençol freático).

Segundo o modelo WEPP – Water Erosion Prediction Project, USDA, 1995, caso a porcentagem de argila no solo seja igual ou menor que 40%, pode-se utilizar a seguinte equação para o cálculo de Km:

$$Km = 0,05.Sa^{1,25} + 9,44.CTC^{-0,69} - 0,46 \quad (2)$$

Onde:

- Km = Condutividade hidráulica média do solo;
- Sa = Porcentagem de areia do solo;
- CTC = Capacidade de troca catiônica do solo.

Caso a $CTC \leq 1,00$, a Km é calculada por:

$$Km = 8,98 + 0,05.Sa^{1,25} \quad (3)$$

Se a porcentagem de argila for superior a 40%, utiliza-se a equação:

$$Km = - 0,016.e^{171/CI} \quad (4)$$

Onde:

- e = 2,7183...(base dos logarítimos neperianos)
- CI = porcentagem de argila da camada superficial do solo.

5. ENSAIOS CONDUZIDOS

Foram executadas duas séries distintas de ensaios: uma no entorno da sepultura-objeto (com o simulador de chuva) e a outra no laboratório (com a coluna de solos já utilizadas e pesquisa anterior).

5.1 Coluna de solos

Estes ensaios conduzidos nos Laboratórios de Solos e de Microbiologia, objetivaram a avaliação quantitativa, em condições ideais, da velocidade de percolação, cinética da dissolução dos grumos de necrópó recolhidos no Cemitério Municipal e da depuração microbiológica (inóculos de Coliformes fecais e Escherichia coli), oferecida pelo solo local.

Como tais ensaios já foram descritos minuciosamente em dois trabalhos anteriores (citados nas referências Bibliográficas), aqui apresentaremos apenas os resultados obtidos.

Foram conduzidas duas séries de ensaios laboratoriais, no total de doze corridas de percolação e outra com tomadas de amostras, para verificar a atenuação bacteriana (Coliformes fecais e Escherichia coli, 3 corridas cada).

No preenchimento das colunas, utilizou-se o solo nativo obtido nas sondagens geológicas locais, com assentamento natural. Evidentemente, dado o empolamento do solo, as condições de compactação natural foram alteradas, podendo potencialmente alterar a transmissividade hídrica e o coeficiente de permeabilidade média. Todavia, na verificação expedita no laboratório, percolando água pura três vezes, o cálculo expedito da condutividade hidráulica média forneceu resultados com menos de 10% do valor determinado no campo, portanto, aceitável:

$$K_m = 2,46 \times 10^{-4} \text{ cm/s (campo)}$$

$$K_m' = 2,71 \times 10^{-4} \text{ cm/s (laboratório)}$$

$$\Delta K_m = 0,000025 \approx 0,25 \times 10^{-4} \text{ cm/s (laboratório)}$$

A velocidade média da percolação na coluna de solos, com comprimento de 2,00m, foi de:

$$V_m = \frac{L}{\Delta t} \approx \frac{200,00}{58,00} \approx 3,45 \text{ cm/min}$$

coerente com o observado no campo.

Em termos de redução bacteriológica, os exames microbiológicos permitiram determinar as seguintes equações geossanitárias:

$$Cmb = 17000,00 \cdot e^{-2,239 \cdot dn} \text{ (UFC/100mL)} \quad (5)$$

$$dh = \left(\frac{4,230 - \log Cmb}{0,972} \right) \quad (m) \quad (6)$$

$$Cmb = 17000,00 \cdot e^{-8,119 \cdot dv} \text{ (UFC/100mL)} \quad (7)$$

$$dv = \left(\frac{4,230 - \log Cmb}{3,524} \right) \quad (m) \quad (8)$$

onde:

- Cmb = Comunidade microbológica (Escherichia coli)
- Dh = Distanciamento horizontal (afastamento lateral)
- Dv = Distanciamento vertical (profundidade)

5.2 Simulação de chuvas

No cemitério municipal, cuja Prefeitura Municipal gentilmente nos franqueou para os estudos locais, de maneira oficiosa, dada a campanha pré-eleitoral e as atividades da dita oposição regional, conduzimos a série de ensaios de campo, objetivando verificar qualitativa e quantitativamente a dissolução, a redeposição e redissolução dos grumos de necrópó retidos de permeio à massa de solo.

Em cada uma das doze séries de chuva simulada, com duração de uma hora cada, à razão de 30,00mm/h (30,00L/m² x hora), foi utilizada a água potabilizada da rede municipal da SABESP. A viscosidade dessa água foi determinada como sendo de 0,00894 poise (9,12 x 10⁻⁶g/cm².s).

Ao final de cada série (60,00 minutos), era respeitado o estado de repouso relativo, a fim de propiciar a percolação efetiva da porção de água

infiltrada no solo e a lixiviação ("lavagem") dos grumos do necrópó (30,00g) recolhido no entorno da sepultura e depositado na profundidade de 0,80m.

O corpo jazente, na ocasião da pesquisa, estava sepulturado há cerca de um ano, portanto, já na fase de franca esqueletização. Os grumos do necrópó, recolhidos na profundidade de 1,25m, perfizeram u'a massaroca de 175,00g, devidamente coletados e preservados para os ensaios.

Na vertical do local de enterramento do necrópó, foi instalado um tubo de polietileno de alta densidade, diâmetro de 16,0 pol (406,40mm), comprimento de 1,00m, para facilitar o acesso e o recobrimento da carga de necrópó, sucessivamente, durante as observações (pesagem da massaroca, amostragem para os exames microbiológicos e inspeção visual).

Os ciclos de chuva simulada sucediam-se a cada duas horas, sem nenhuma ocorrência obstaculizadora. Após a execução do último ensaio (25h depois do início), o tubo de PEAD foi retirado e a escavação (1,25m) foi aprofundada até os 2,00m, sendo recolhida a terra para a verificação da parcela do necrópó remobilizada pela última lavagem (12º). Em seguida, a escavação foi apropriadamente preenchida com o solo local e a superfície recomposta.

Os trabalhos de campo foram conduzidos num final de semana, discretamente, atendendo a solicitação do Sr. Administrador da necrópole, a fim de não chamar a atenção e não despertar a curiosidade pública.

A umidade do solo foi mantida no entorno de 5,80 a 6,40%, a fim de garantir o estado hidrodinâmico da faixa de transmissão hídrica do solo e a frente de umedecimento requerida pelo modelo adotado para a simulação pluviométrica. A densidade média do solo manteve-se no entorno dos 1,16g/cm³, sem a ocorrência de encrostamento da porção superficial do maciço de solo, o que prejudicaria acentuadamente os resultados dos ensaios. A taxa de infiltração da água aplicada pelo simulador pluvial, manteve-se ao redor dos 45,00mm/h (maior que a intensidade pluviométrica do simulador, como prescreve o modelo Green-Ampt modificado por Mein e Larsen).

A viscosidade dinâmica da água percolada, determinada em laboratório, foi de 0,00932poise ($9,51 \times 10^{-6}$ g/cm².s), enquanto que a da água da rede pública era de 0,00894 pois ($9,12 \times 10^{-6}$ g/cm².s).

O simulacro de chuvas demonstrou a efetividade dos processos de infiltração e de percolação gravitacional solo adentro, a celeridade do fluxo aquoso rumo ao lençol freático subjacente, bem como a maneira de dissolução das massarocas do necropó retidos no solo e a sua redeposição sempre mais abaixo no maciço, a cada evento pluviométrico incidente.

Para calibrar a lixiviação do necropó pela água aspergida do simulador de chuvas, procederam-se a dois ensaios com água destiladas (“brancos de prova”), com as seguintes expressões:

$$Mnp = 8,35 - (5,29 \cdot \log t) \quad (9)$$

$$t = \text{antilog} \left(\frac{8,35 - Mnp}{5,29} \right) \quad (10)$$

$$Mnp = 30,00 - (4,00 \cdot L) \quad (11)$$

$$L = \left(\frac{30,00 - Mnp}{4,00} \right) \quad (12)$$

Onde:

Mnp = Massa do necropó ensaiado (g)

L = Número de lixiviações (“lavagens”)

t = Tempo requerido para a lixiviação (minutos)

os quais foram bastante elucidativos e úteis.

Para estimar a quantidade de soluto na água das lavagens, utiliza-se a equação clássica da Hidroquímica, a saber:

$$Cm = \alpha \cdot ps \cdot (1,00 - me) \quad (13)$$

onde:

- Cm = Concentração média da substância na água (g/L)
- α = Teor da substância no solo (%)
- ps = Densidade média do solo (g/cm³)
- me = Porosidade efetiva média do solo (%)

6. CONCLUSÃO

A lixiviação do necropó retido no maciço de solos dos cemitérios, pela parcela das águas pluviais infiltradas e percolantes, é efetiva e recorrente a cada evento pluviométrico, ao longo do tempo, lavando as massarocas, solubilizando uma porção delas e redepositando os solutos cada vez mais profundamente, na vertical considerada.

O necropó é constituído, em média, por 55% de água 33% de substâncias mineralizáveis e 12% de substâncias orgânicas degradáveis, com coloração parda-amarelada, formando grumos ou massarocas facilmente desfeitas em material pulvulento, com constituintes solubilizáveis e carreáveis pela água em trânsito gravitacional.

Em termos toxicológicos, como a parcela de substâncias com risco potencial à saúde humana é degradável e neutralizada rapidamente no subsolo, não oferece maiores inconvenientes, como carga aportante no aquífero freático.

Com relação aos vetores microbiológicos contidos no necropó, de conformidade com o observado no campo e nos ensaios conduzidos com bactérias (Escherichia coli e Coliformes fecais), verificou-se que a capacidade de depuração natural do solo atua eficientemente na neutralização, de tal forma que à medida que a profundidade ou o distanciamento horizontal aumentam, a comunidade microbiológica bacteriana extingue-se em ritmo exponencial. Já com relação aos vírus, dado a sua capacidade de latência e dimensões muito diminutas ($\leq 200\mu\text{m}$), a sua transmissividade e infectabilidade são grandes; nessa pesquisa, devido às nossas limitações, não foram estudados tais microrganismos, o que é um campo excelente para pesquisas específicas por estudiosos mais gabaritados.

O necropó é facilmente assimilável a massa edafológica, com os seus solutos hidroggeoquímicamente miscíveis, de maneira segura, a água freática, sob a óptica hidroggeoambiente – sanitária. A diluição é muito grande, ao nível de partes por bilhão (ppb).

De maneira estatística, na RMSP, o necropó é formado do segundo ao décimo-oitavo mês pós-sepultamento, à razão média de 167,00mL/d (“quantum diário”), na fase coliquativa do período putrefativo, conforme ilustrado no gráfico

anexado. Na exsudação, os “quanta diários” têm o peso individual médio de 205,410g; na secagem (média de 10,04 horas), o necropó formado tem a massa média de 8,350g.

O porcentual de substâncias orgânicas do necropó (12%) degrada-se naturalmente, na média de 13,00 horas pós-formação. O porcentual de substâncias mineralizáveis (média de 33%), estabiliza-se geoquimicamente durante a secagem do necrochorume (média de 10,04 horas), inertizando-se. A distribuição granulométrica do necropó, conforme ilustra o respectivo gráfico anexado, fica na faixa dos 0,010 a 0,125mm (a das argilas e siltes).

Em termo da vulnerabilidade hidrogeoambiental do maciço geológico à percolação de fluxos aquosos contendo poluentes carregados hidrodinamicamente, de acordo com o ábaco geoestatístico anexado, no caso, é classificada como média.

O necropó como um pó anidro bem estocado, tem uma validade representativa muito longa, maior que meio século. Nas condições geológicas de campo e exposto às condições intempéricas intrínsecas, tem uma vida-média inferior a uma década (de permeio ao solo, na zona insaturada).

O simulador de chuvas utilizado, apesar de ter sido bastante eficiente para os desideratos colimados, pode ser incrementado, por exemplo, com um dispositivo para a variação de vazão, temporizador automático, dispositivo para a medição da temperatura e de pressão da água aplicada, etc. Como sugestão a ser testada, adição de corantes diferentes para cada evento pluviométrico simulado, para facilitar a visualização da retenção parcial no solo e o ritmo das percolações.

Nos ensaios de lixiviação do necropó utilizando a água potabilizada da SABESP, em coluna de solos no laboratório e no cemitério com o simulador de chuvas, verificou-se uma dissolução total do material pulverulento das massarocas, bem mais rápida na coluna de solos (5 lavagens versus 7 no simulador), devido a maior transmissividade gravitacional da água aplicada, condicionada pela compactação mais suave do solo utilizado. No cemitério, em condições similares de qualidade da água, mesmo tipo de solo e mesma quantidade de necropó, a compactidade, o assentamento e o grau de empolamento pedológicos são maiores, conseqüentemente, reduzindo a velocidade e a permissividade, retardando o processo de dissolução dos

grumos do pó funerário. Os gráficos anexados ilustram, de maneira eloqüente, tais assertivas.

O dispositivo para avaliar a percolação da água infiltrada no subsolo, está sendo objeto de pedido de patente no INPI-Instituto Nacional da Propriedade Industrial, no Rio de Janeiro, RJ.



Geol. Lezíro Marques-Silva
CREA 0600-28986-3 - SP
Reg. Nac. 260.667.732-3



CETESB - Companhia Ambiental
do Estado de São Paulo
BIBLIOTECA

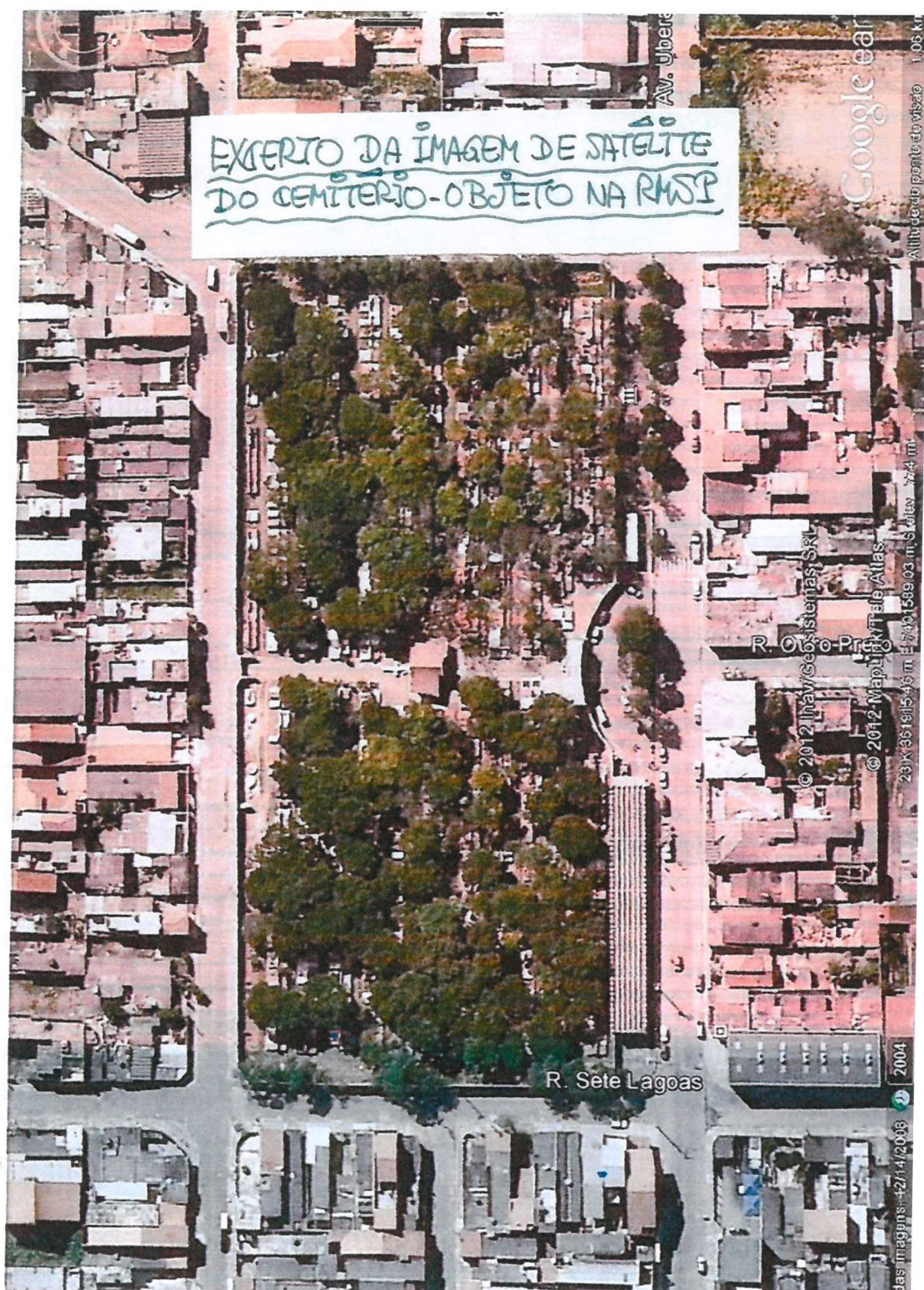


7. ANEXOS

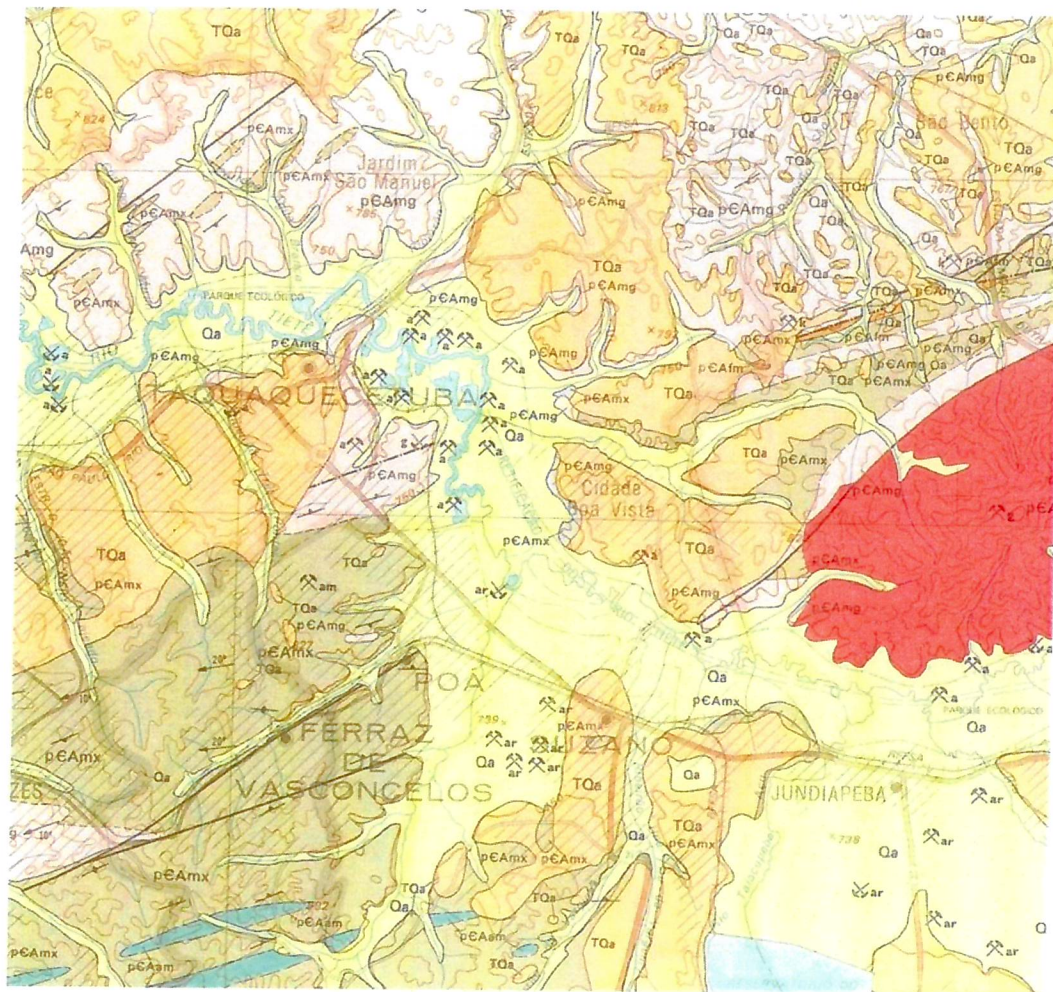
7.1 Locação da área-objeto



7.2 Excerto da imagem de satélite



7.3 Excerto do mapa geológico regional



Governador - Paulo Salim Maiuf
Secretaria dos Negócios Metropolitanos
Secretário - Mário Trindade



Empresa Metropolitana de
Planejamento da
Grande São Paulo S.A.
Presidente — José Martiniano de Azevedo Neto

SISTEMA CARTOGRAFICO METROPOLITANO

1ª Edição: 1980

[illegible]

- 1. -Aurea
- 2. -Aquila
- 3. -Aquila Minerva
- 4. -Aquila e Luchessa Minerva
- 5. -Aquila
- 6. -Aquila
- 7. -Aquila
- 8. -Aquila
- 9. -Aquila e Luchessa Minerva

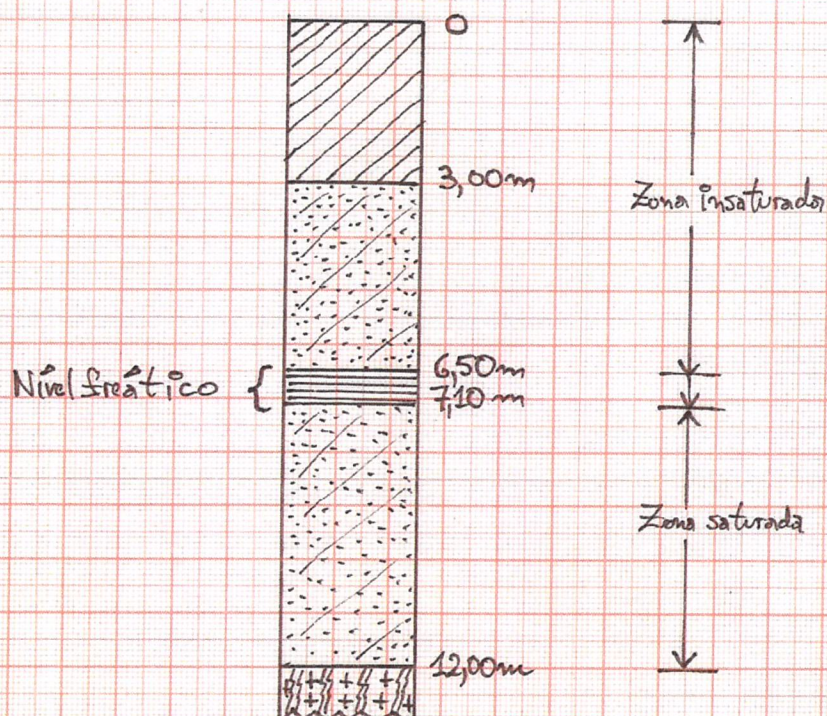
[illegible]

如子集 $\{a, b, c\}$ 、 $\{a, b, d, e, f\}$ 、 $\{a, b, c, d, e, f, g, h\}$ 、 $\{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z\}$ 、 $\{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z, \infty\}$ 。

DADOS DE REPRODUÇÃO: 5000 cópias

7.4 Coluna geológica regional

COLUNA GEOLOGICA - TIPO LOCAL

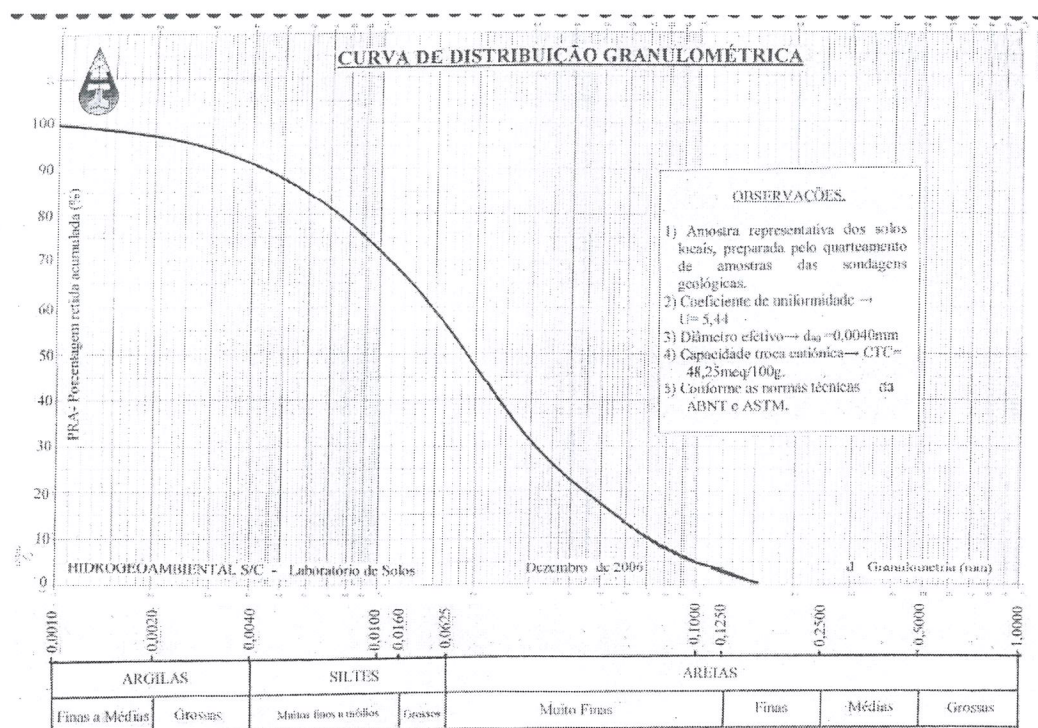


-  Solo de alteração de rocha ("regolito"), cor avermelhada, mole, esboroável
-  Rocha gnaissíde semi-alterada a alterada, cor parda-acinzentada, dura, estável.
-  Rocha gnaissíde inalterada do Grupo Açungui, cor cinzenta escura, muito dura, compacta.

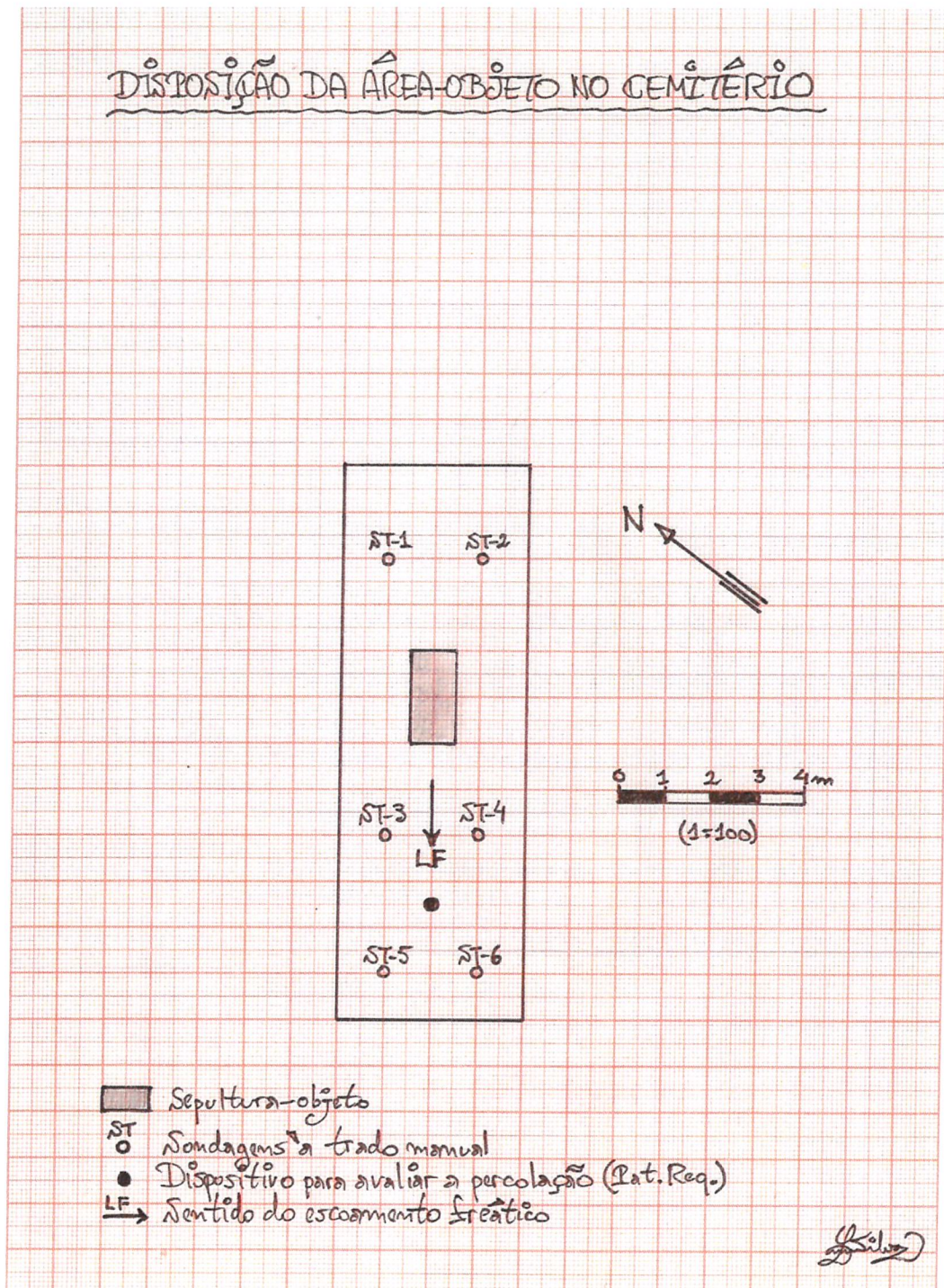
(Geol. Leão Marques-Silva, S. Paulo, SP - Abril de 2012)

(Assinatura)

7.5 Curva de Distribuição Granulométrica do Solo da área-objeto

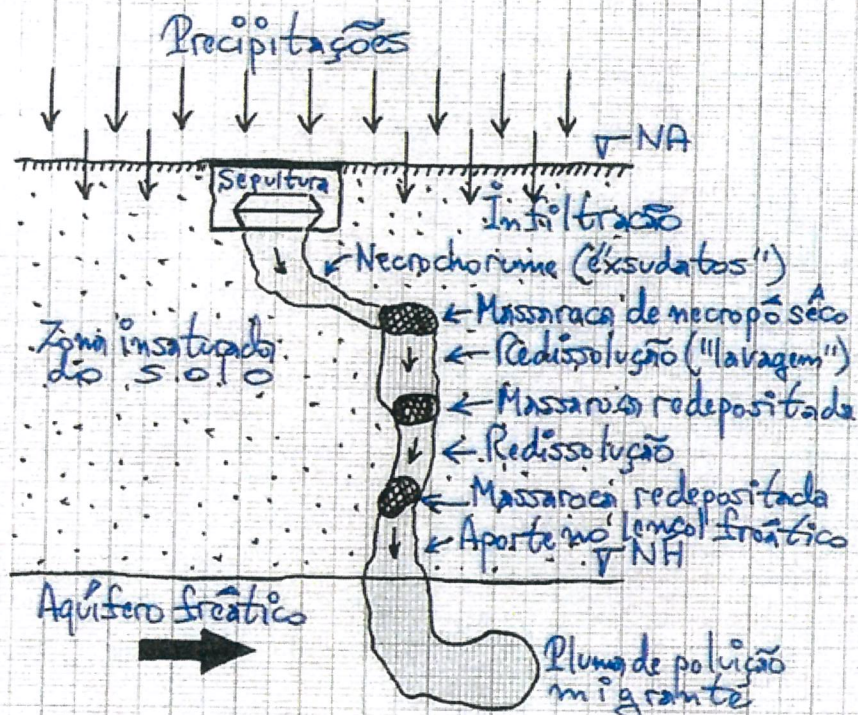


7.6 Locação das sondagens geológicas e do dispositivo para estimar a percolação de água no subsolo



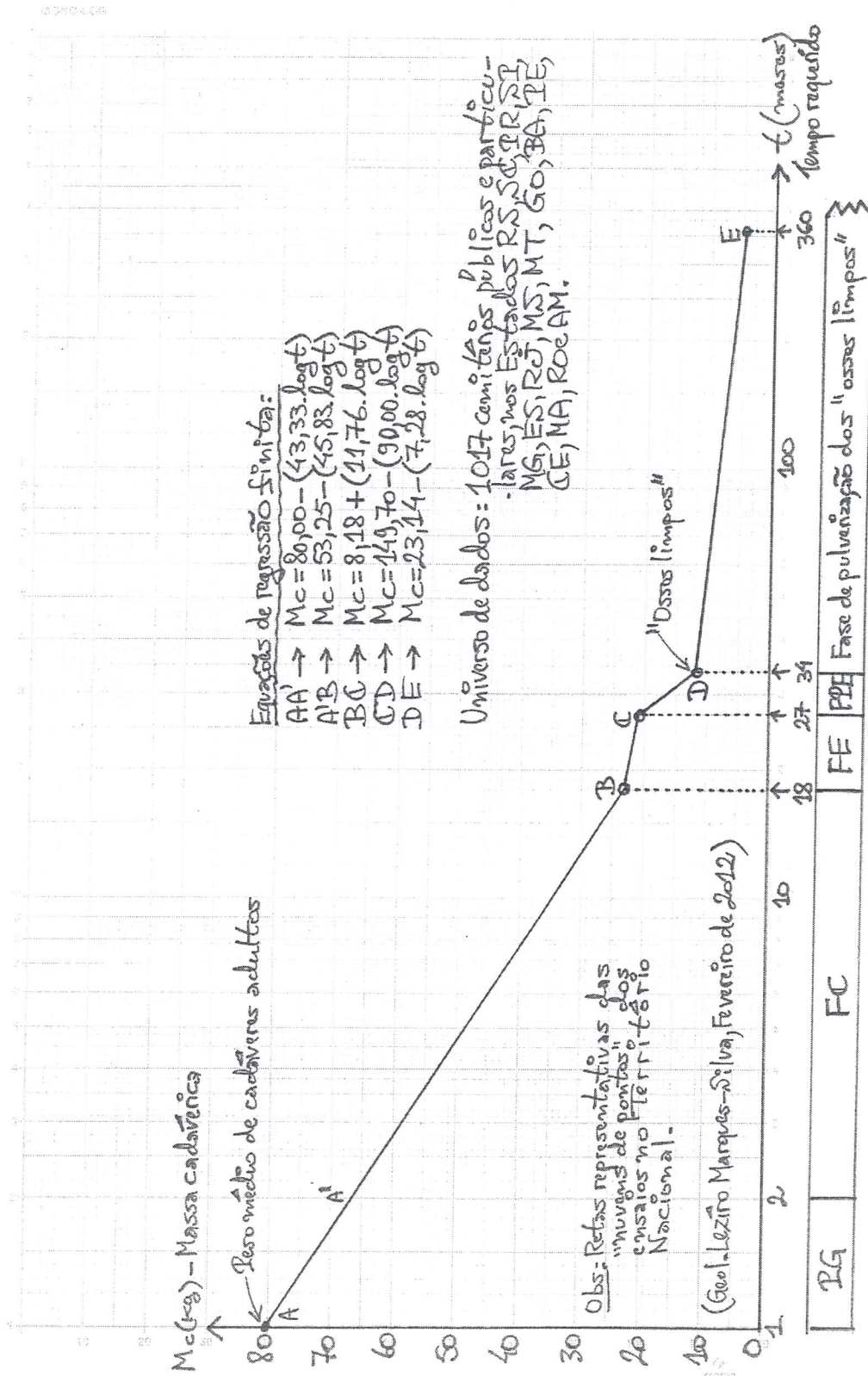
7.7 Ilustração do processo natural de aporte indireto dos exsudatos cadavéricos no aquífero.

PROCESSO NATURAL DE APORTE INDIRETO DOS EXSUDATOS FORMOLIZADOS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

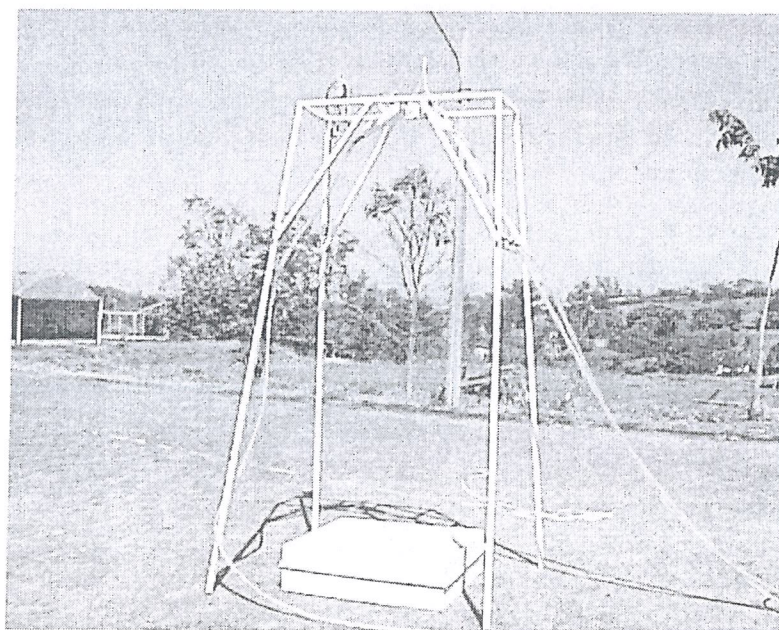
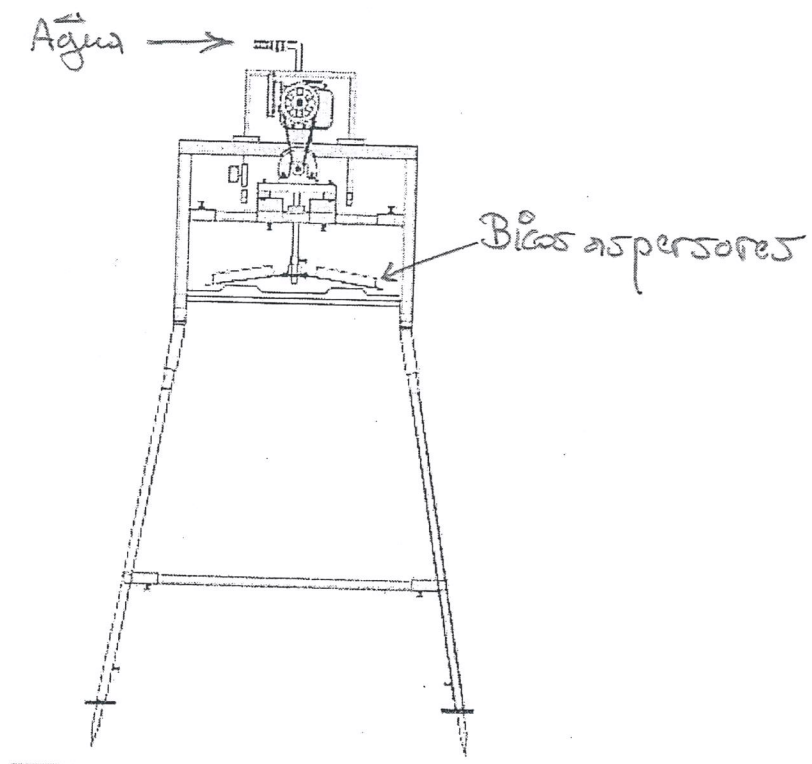


7.8 Esquema construtivo das colunas de solo utilizadas na pesquisa

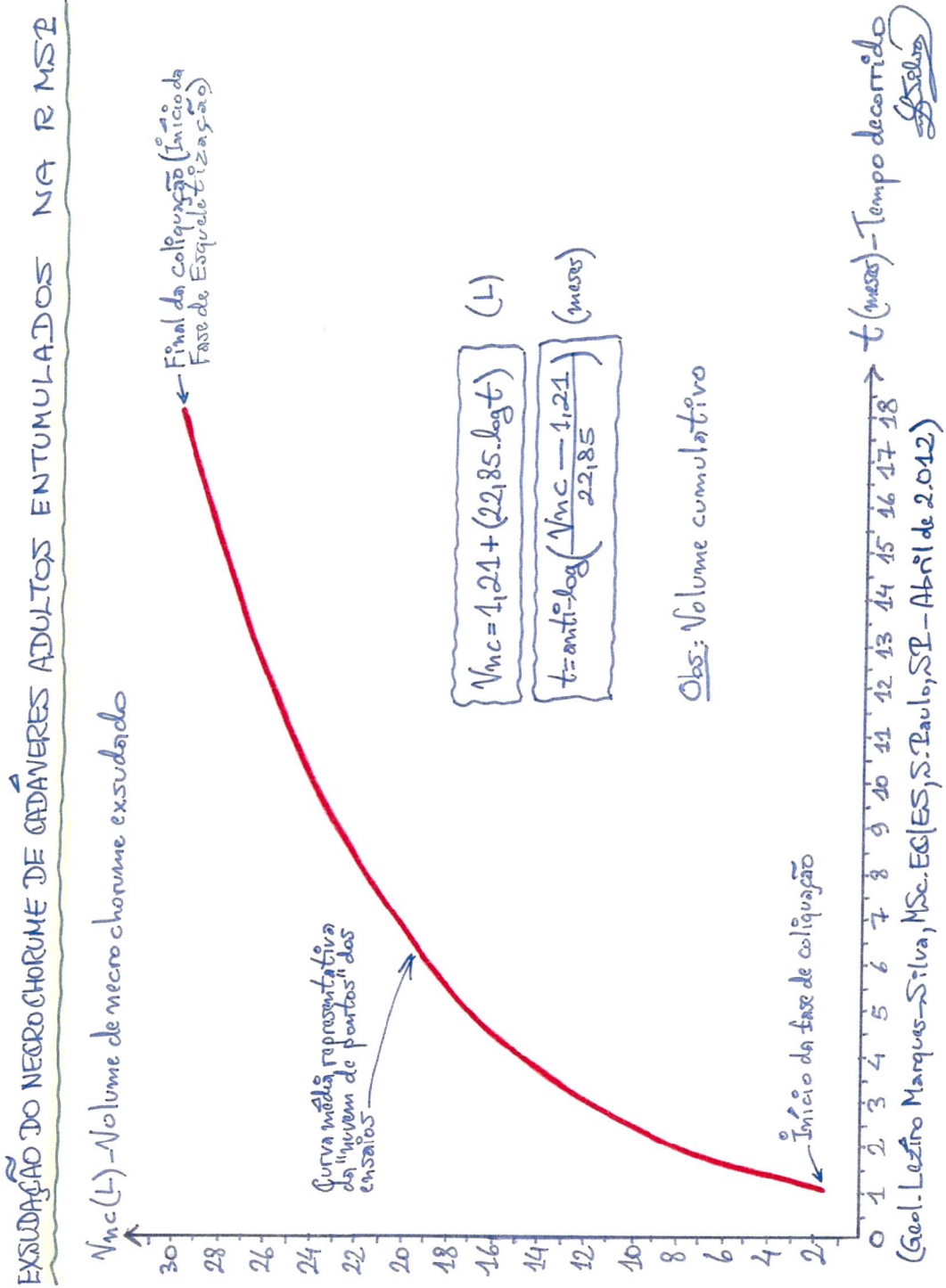
DECOMPOSIÇÃO NORMAL DE CADAVERES ADULTOS ENTUMALADOS (PESQUISA NACIONAL)



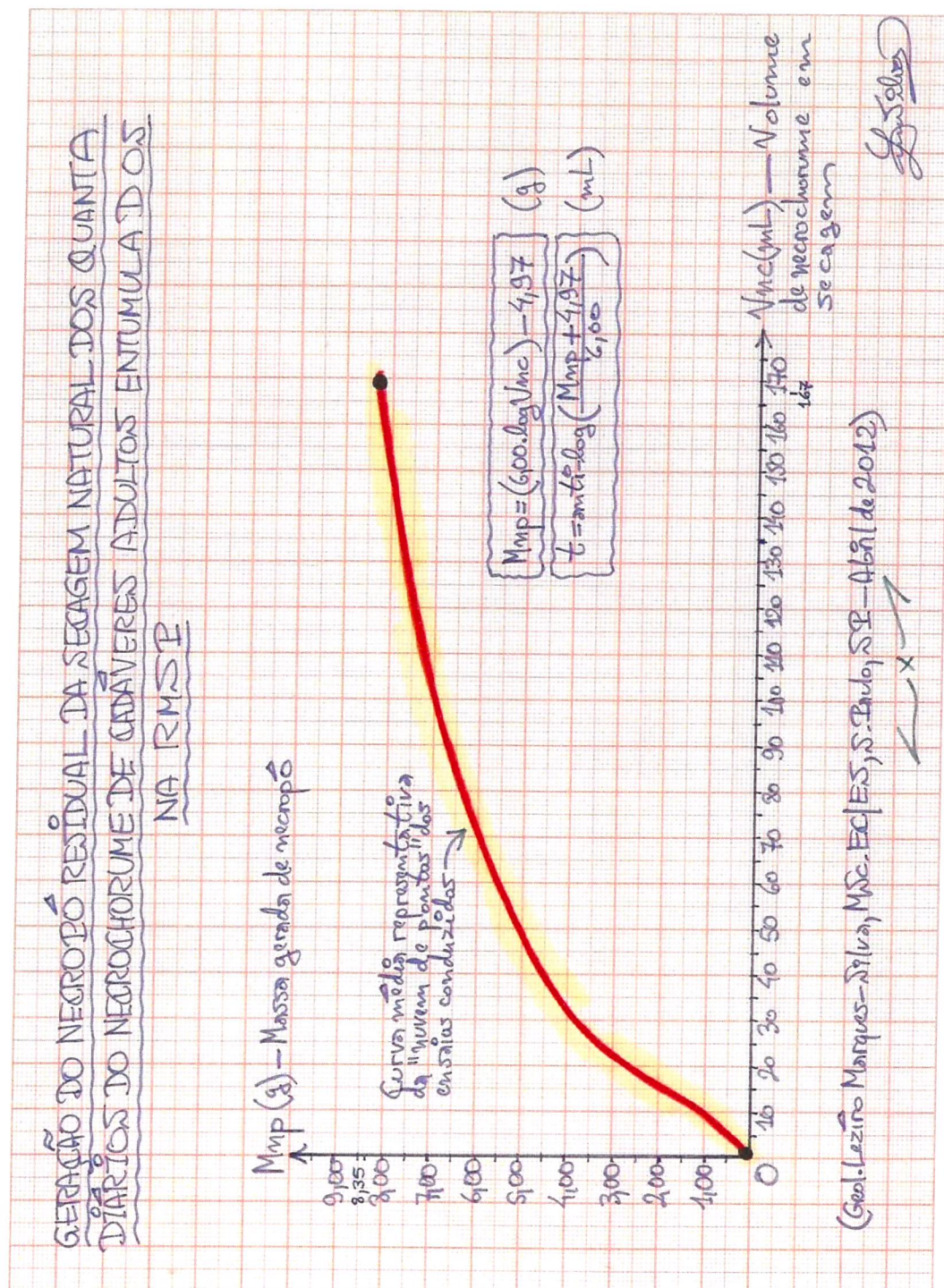
7.9 Esquema construtivo do simulador de chuvas utilizado na pesquisa



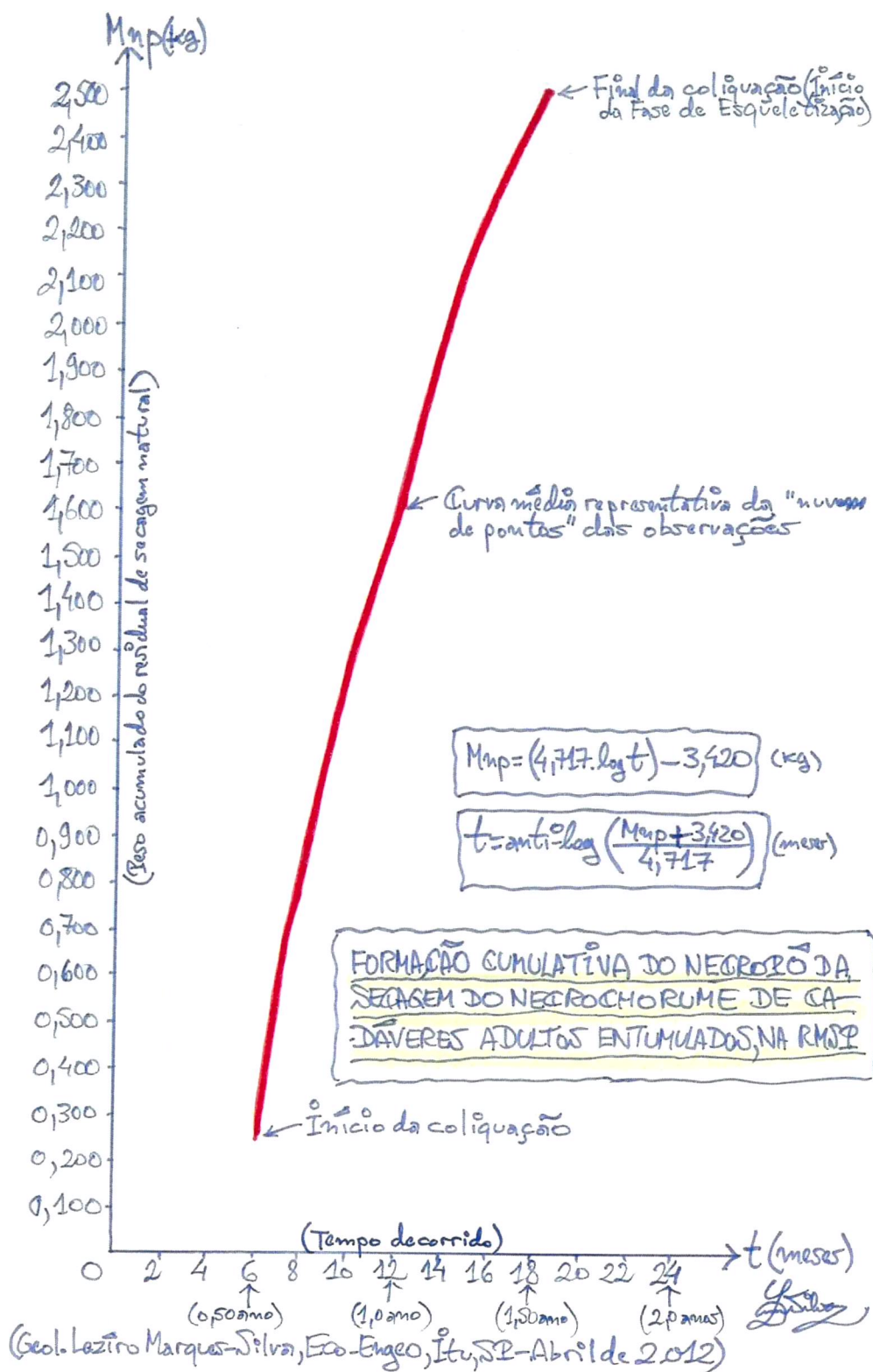
7.10 Gráfico da exsudação do necrochorume de cadáveres adultos na RMSP



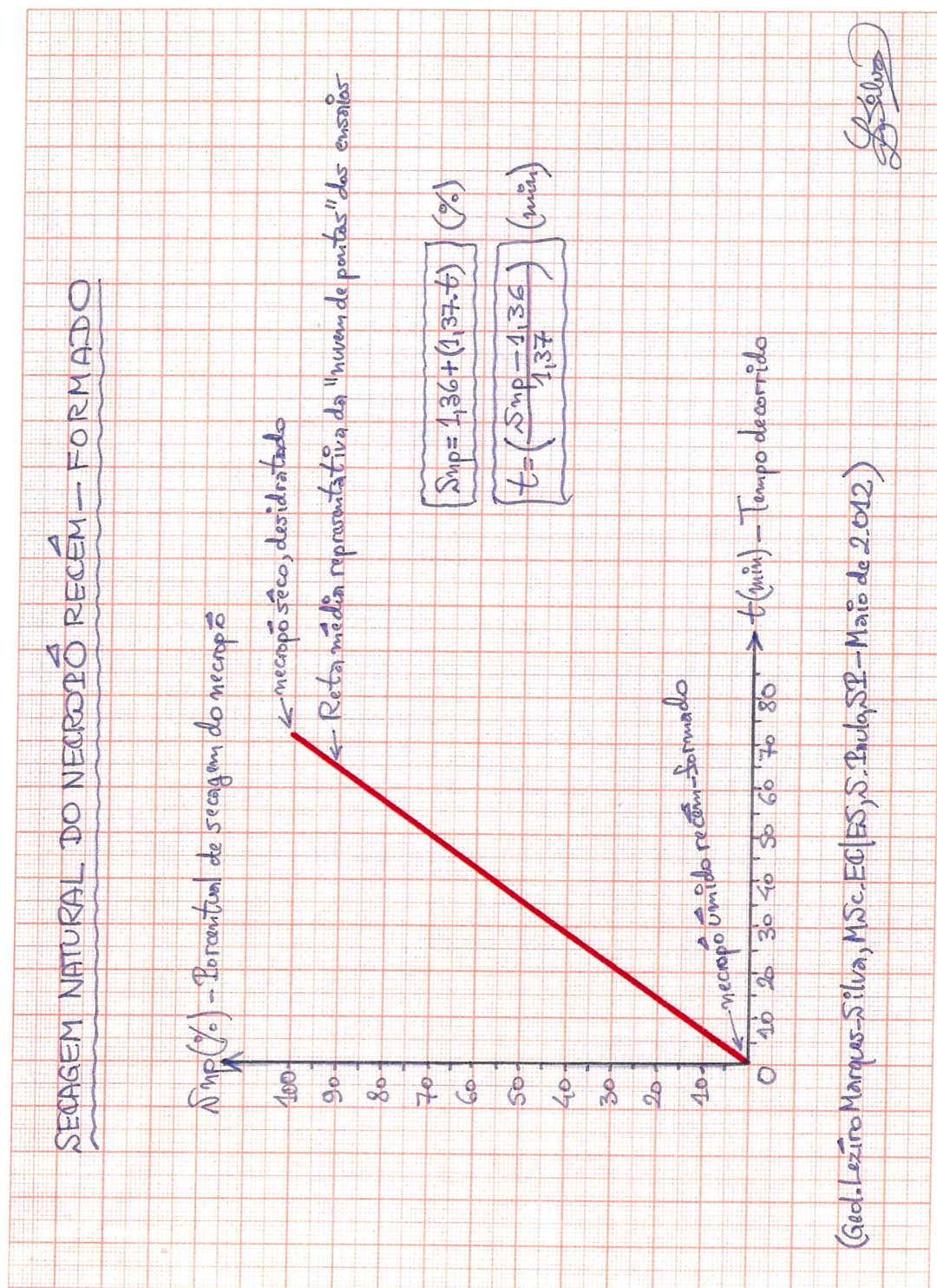
7.11 Gráfico da geração do necrópó residual da secagem natural dos “quanta diários” do necrochorume de cadáveres adultos da RMSP



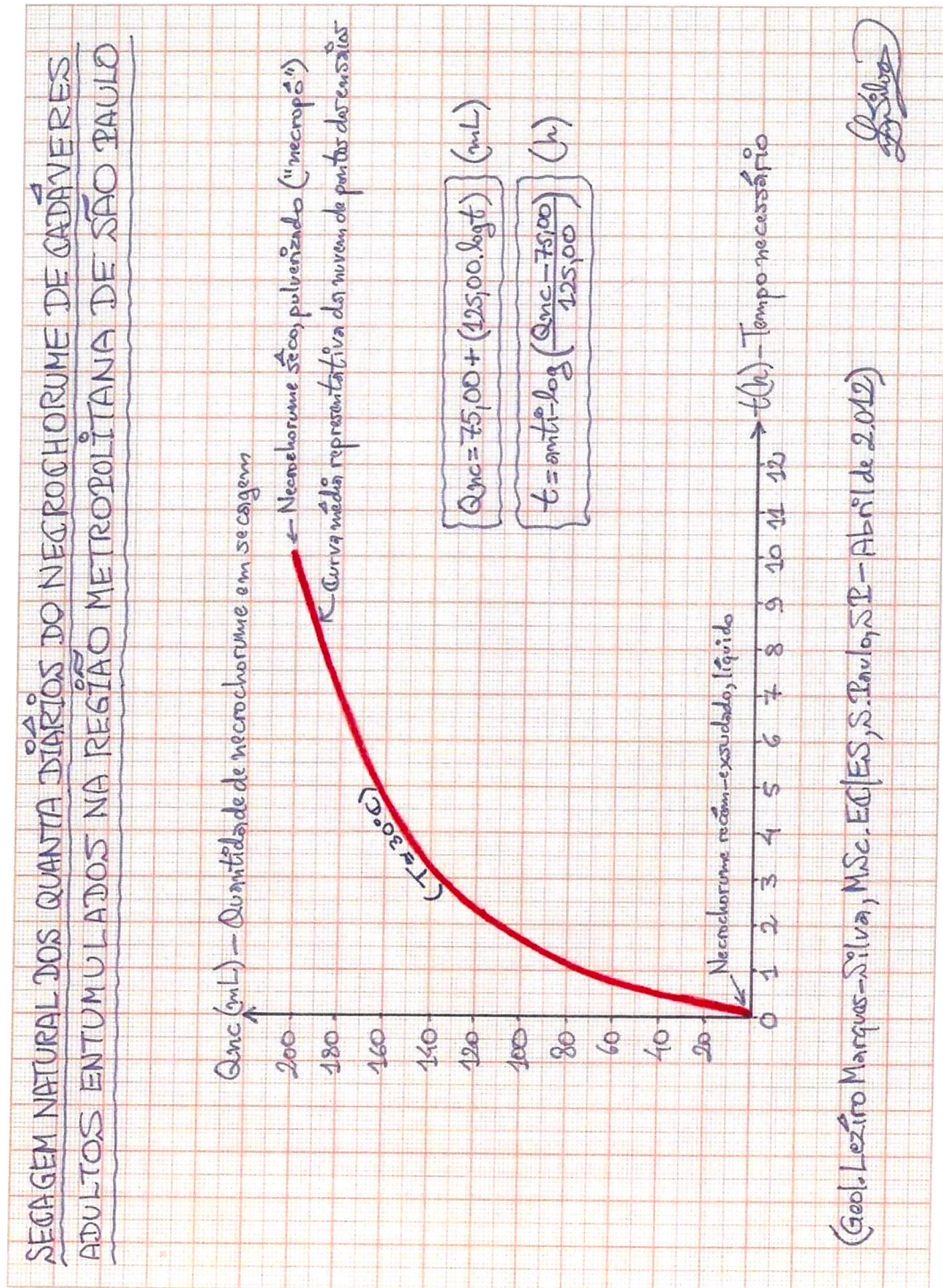
7.12 Gráfico da formação cumulativa do necrópó da secagem do necrochorume de cadáveres adultos na RMSP



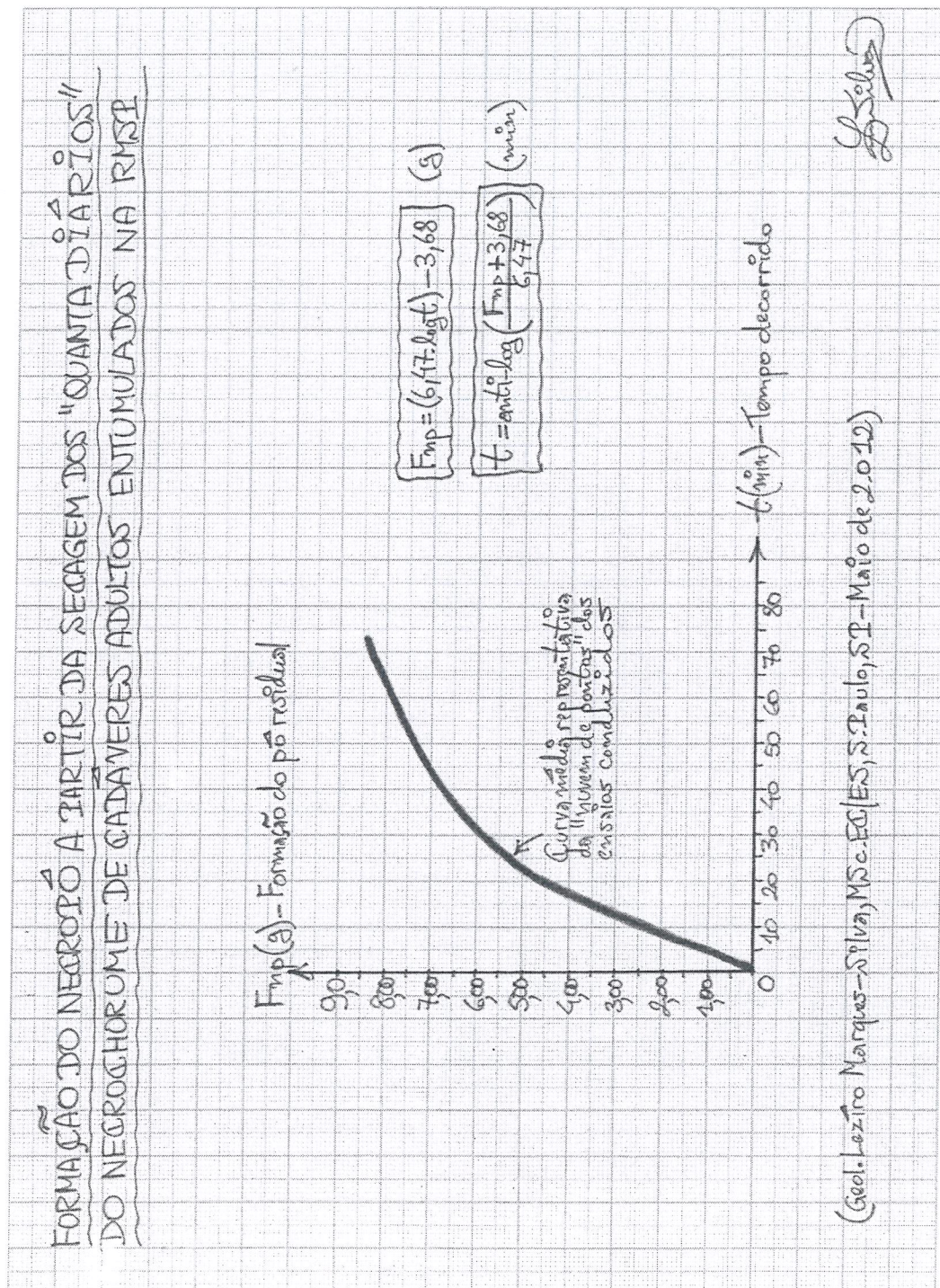
7.13 Gráfico da secagem do necrópó recém-formado



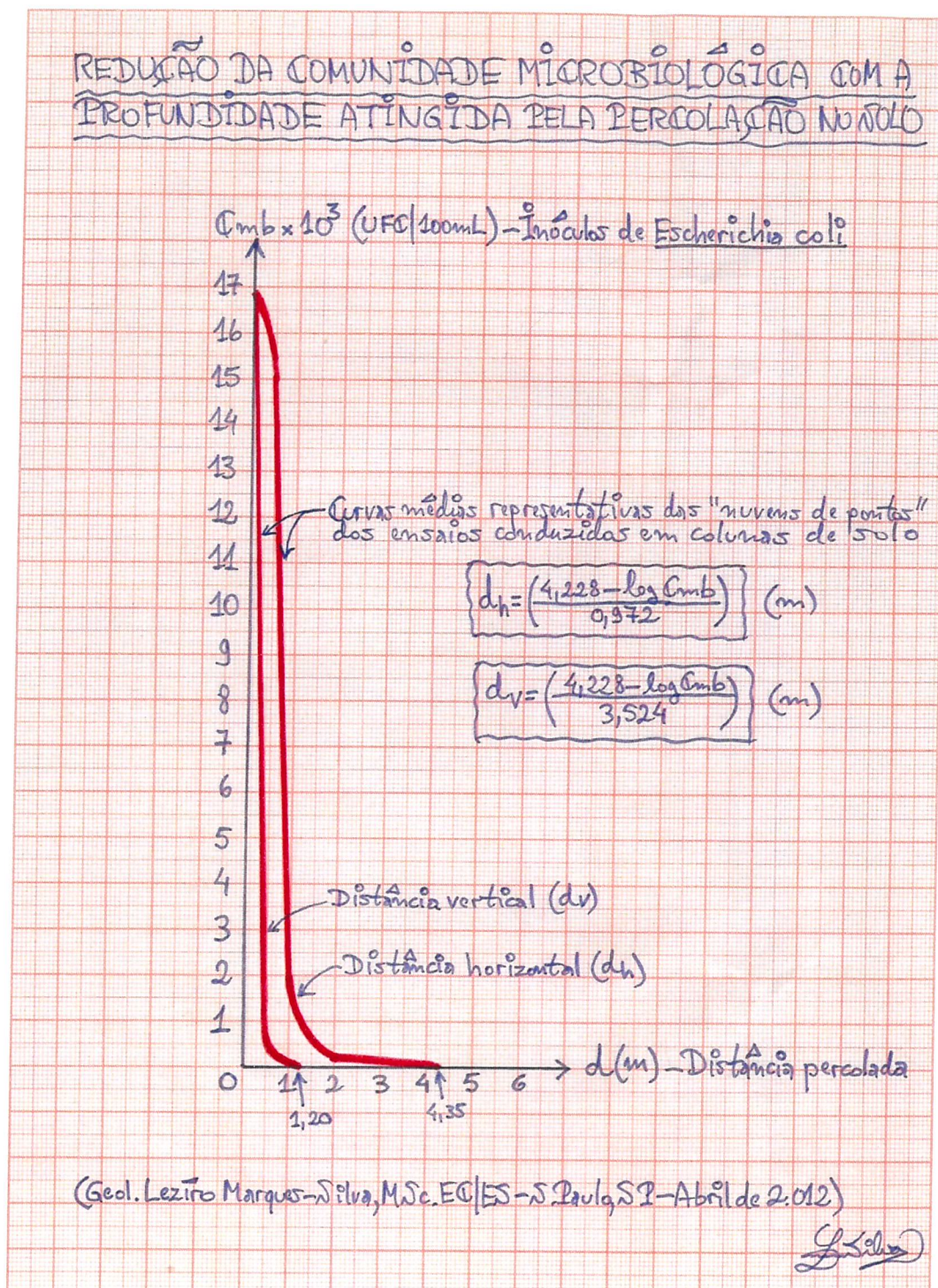
7.14 Gráfico da secagem das “quanta diários” do necrochorume de cadáveres adultos entumulados na RMSP



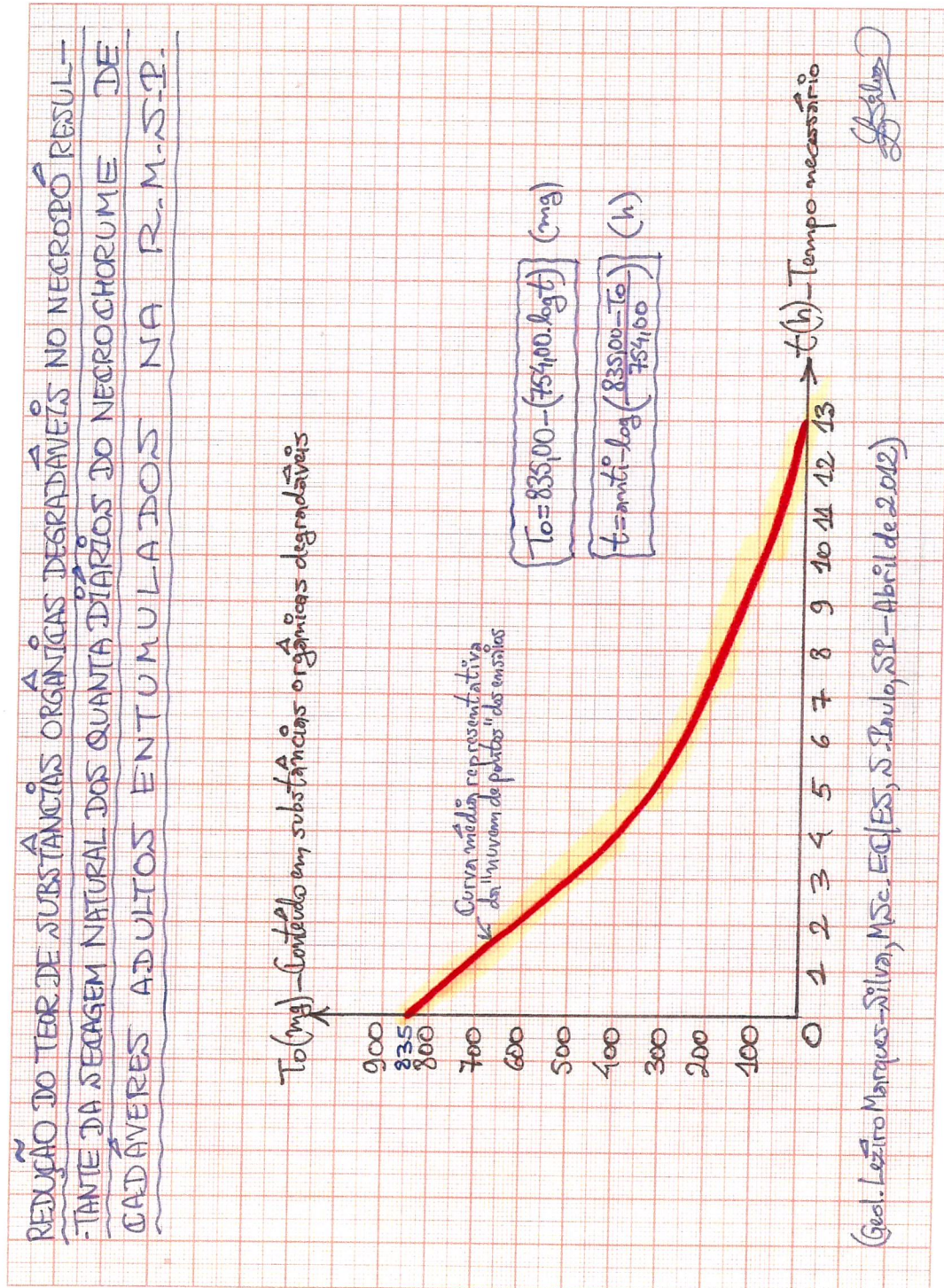
7.15 Gráfico da formação do necrópó a partir da secagem dos
 "quanta diários" do necrochorume de cadáveres adultos na RMSP



7.16 Gráfico da redução da comunidade microbiológica com a profundidade atingida pela percolação no solo

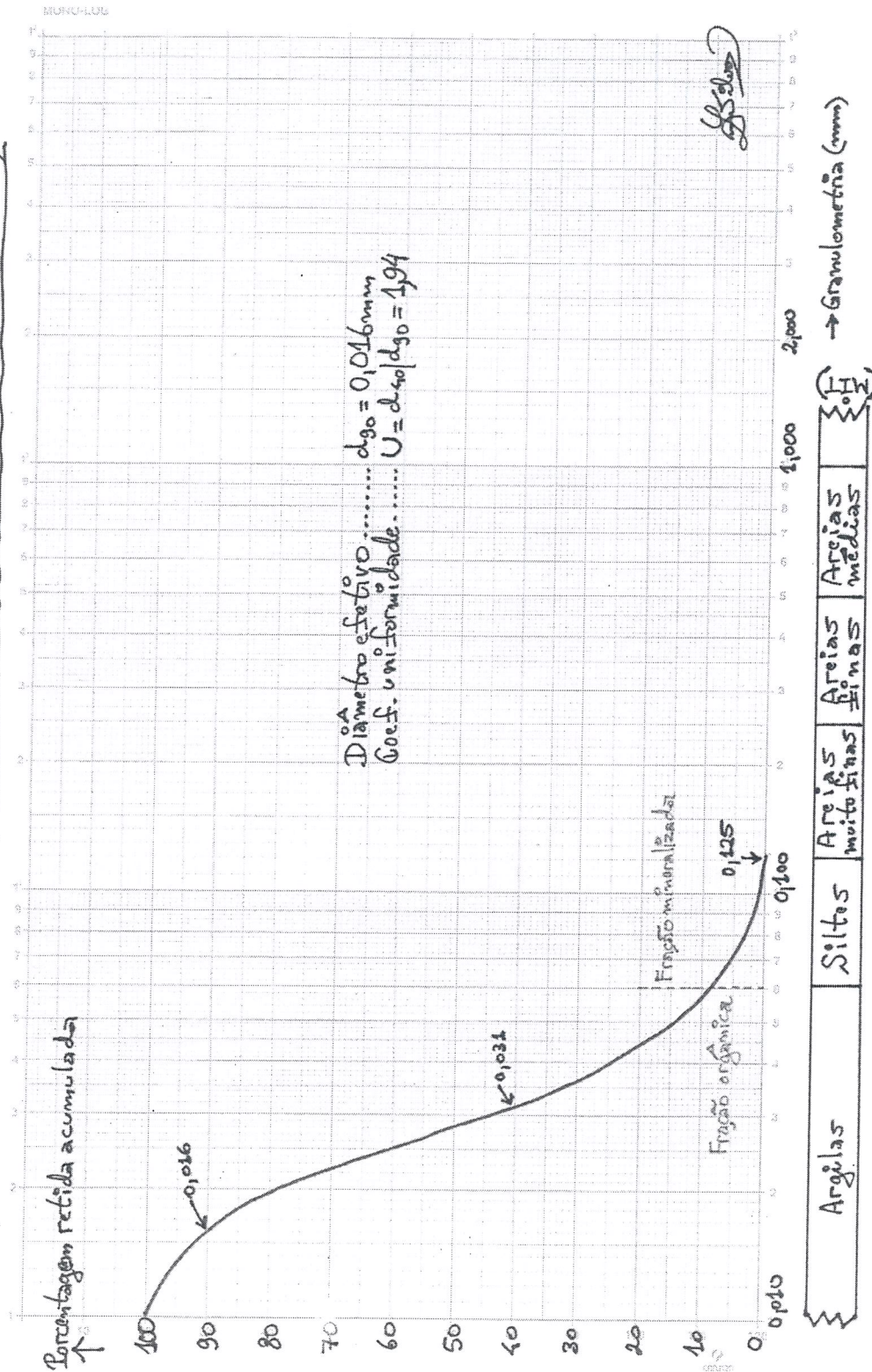


7.17 Gráfico do teor de substâncias orgânicas degradáveis no necrópo resultante da secagem dos "quanta diários" do necrochorume de cadáveres adultos na RMSP



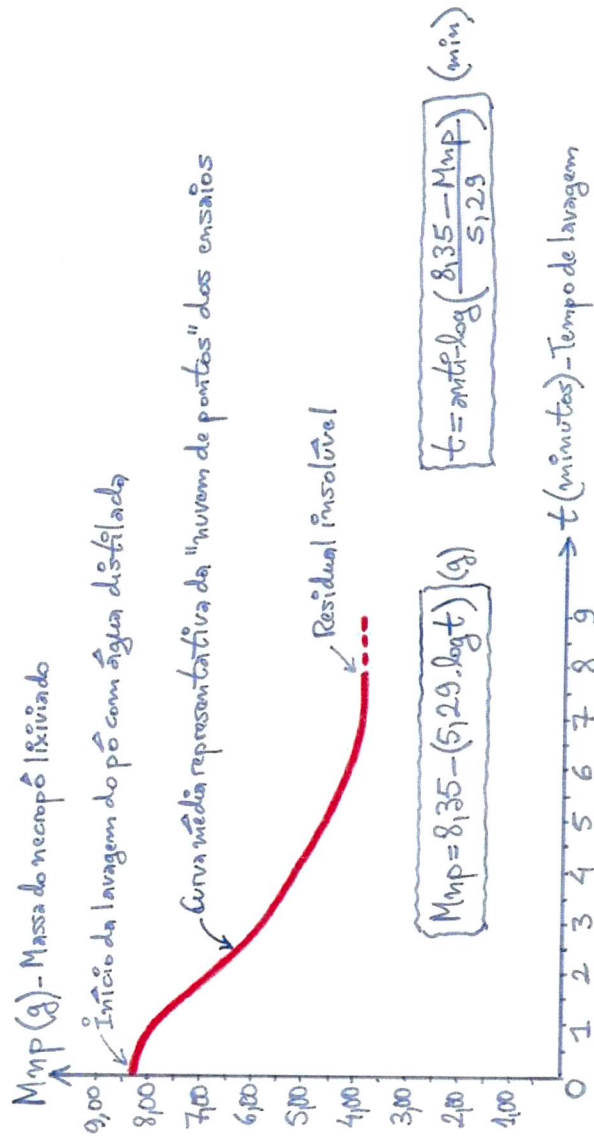
7.18 Gráfico da análise granulométrica de necropó ensaiado

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO RESÍDUO PULVULENTO ("NECROPÓ")



7.19 Gráfico do ensaio de lixiviação do necrópó obtido em sepulturas de cadáveres adultos inumados, com água destilada ("branco de prova"), na RMSP

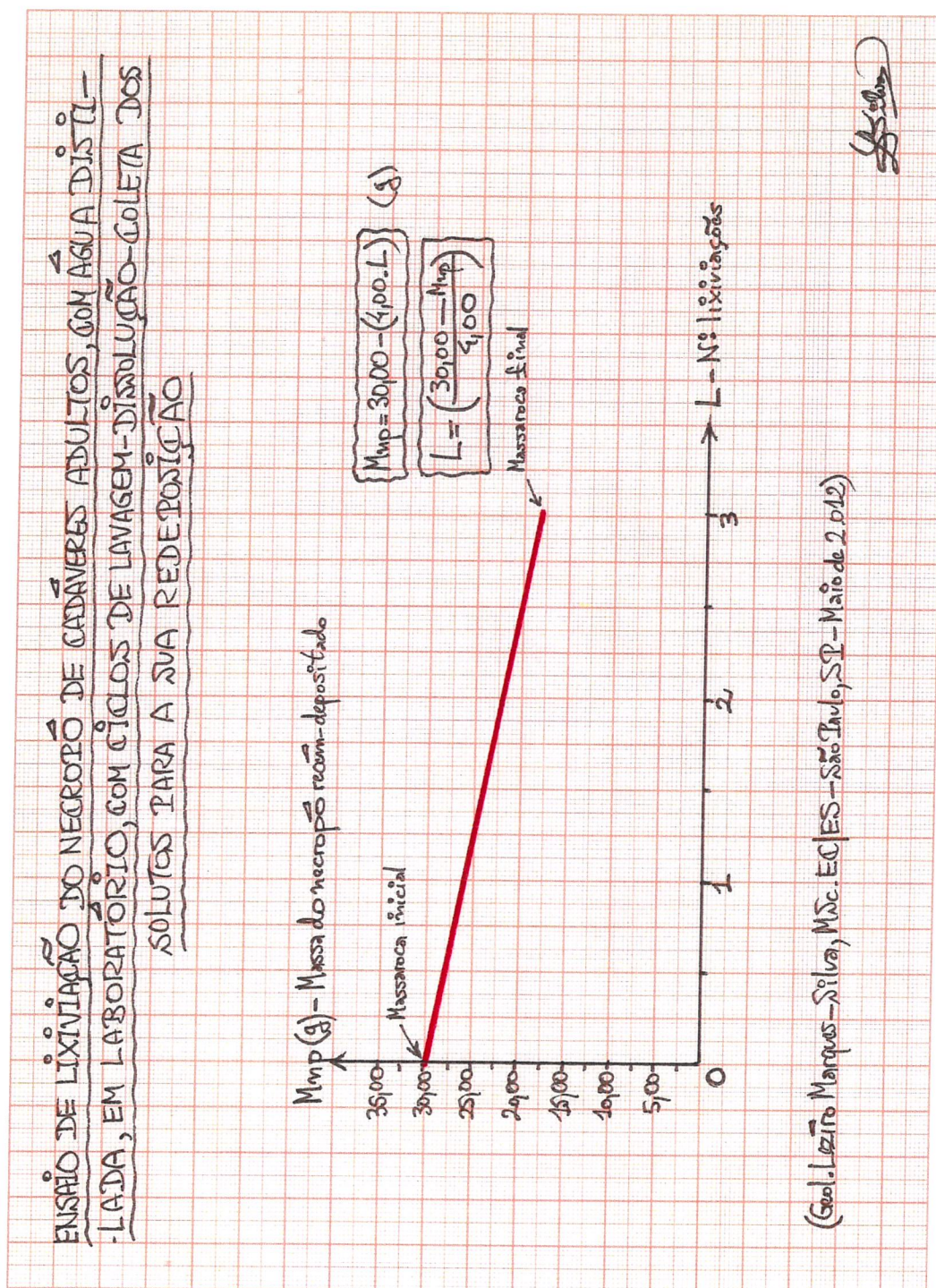
ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO COM ÁGUA DESTILADA DO NECRÓPÓ DE CADÁVERES ADULTOS ENTUMALADOS NA RMSP.



(Geol. Lezíro Marques-Silva, MSc. EOC/ES, S. Paulo, SP - Abril de 2.012.)

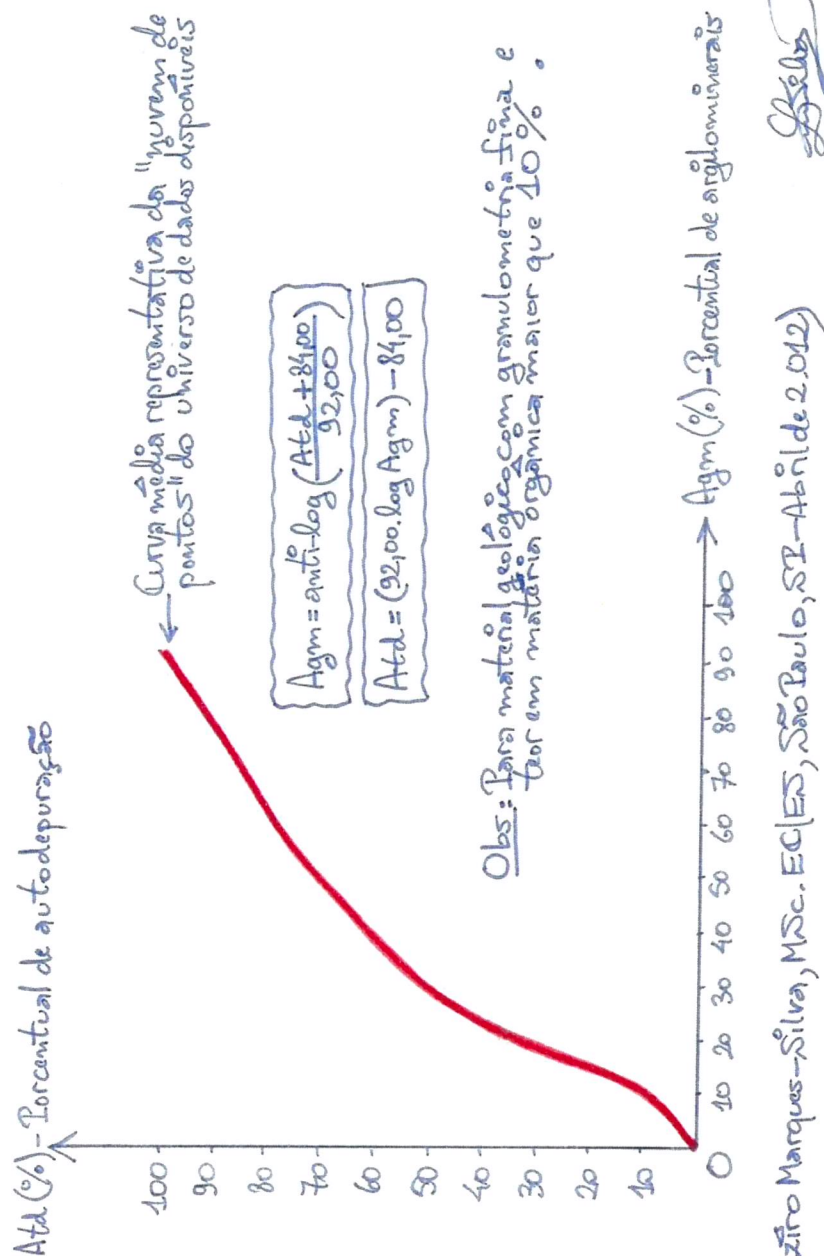
Lezíro

7.20 Gráfico do ensaio de lixiviação do necrópo obtido em sepulturas de cadáveres adultos inumados, com água destilada ("branco de prova"), na RMSP

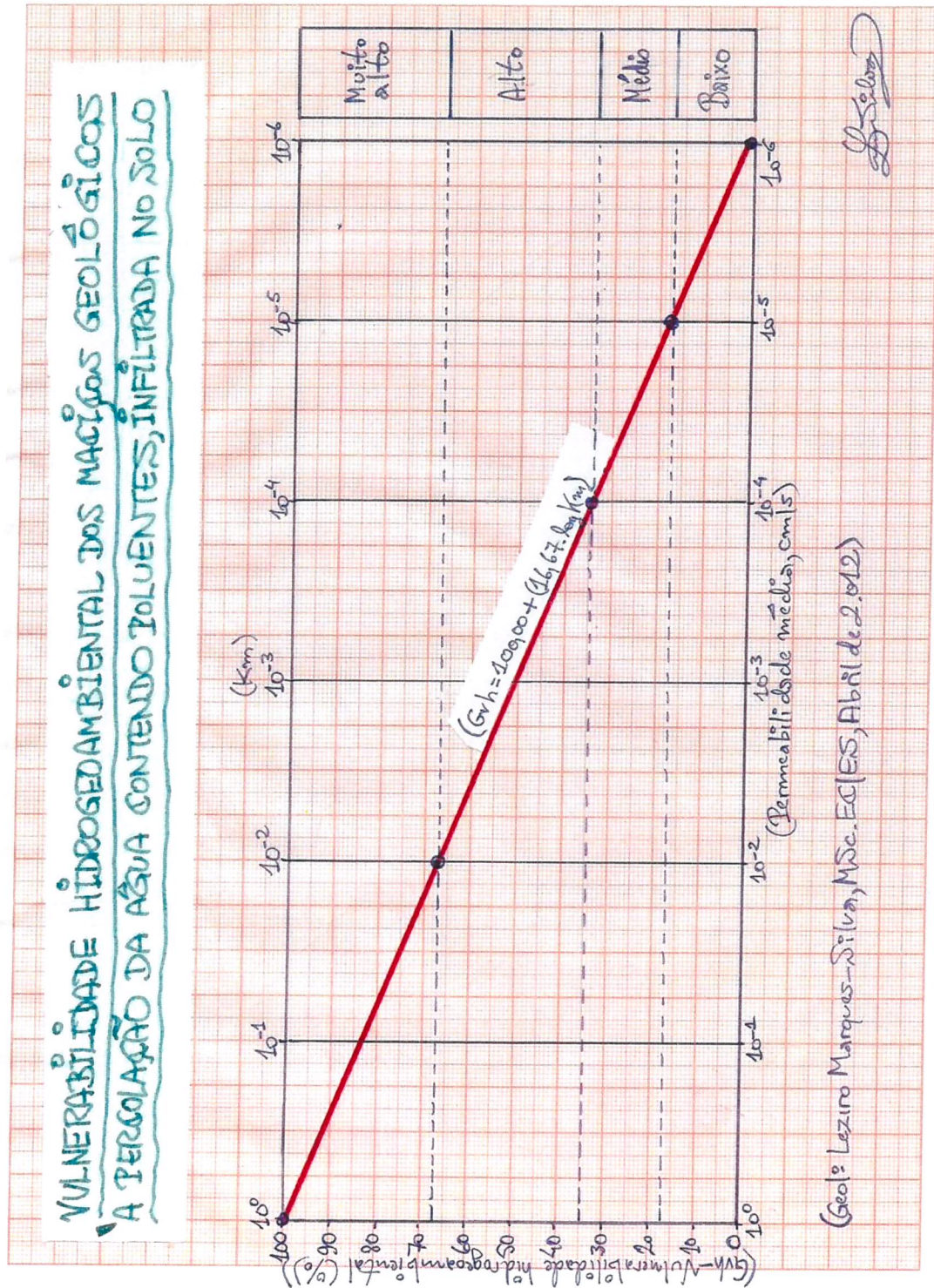


7.21 Gráfico da capacidade de depuração natural dos maciços de solos do Brasil

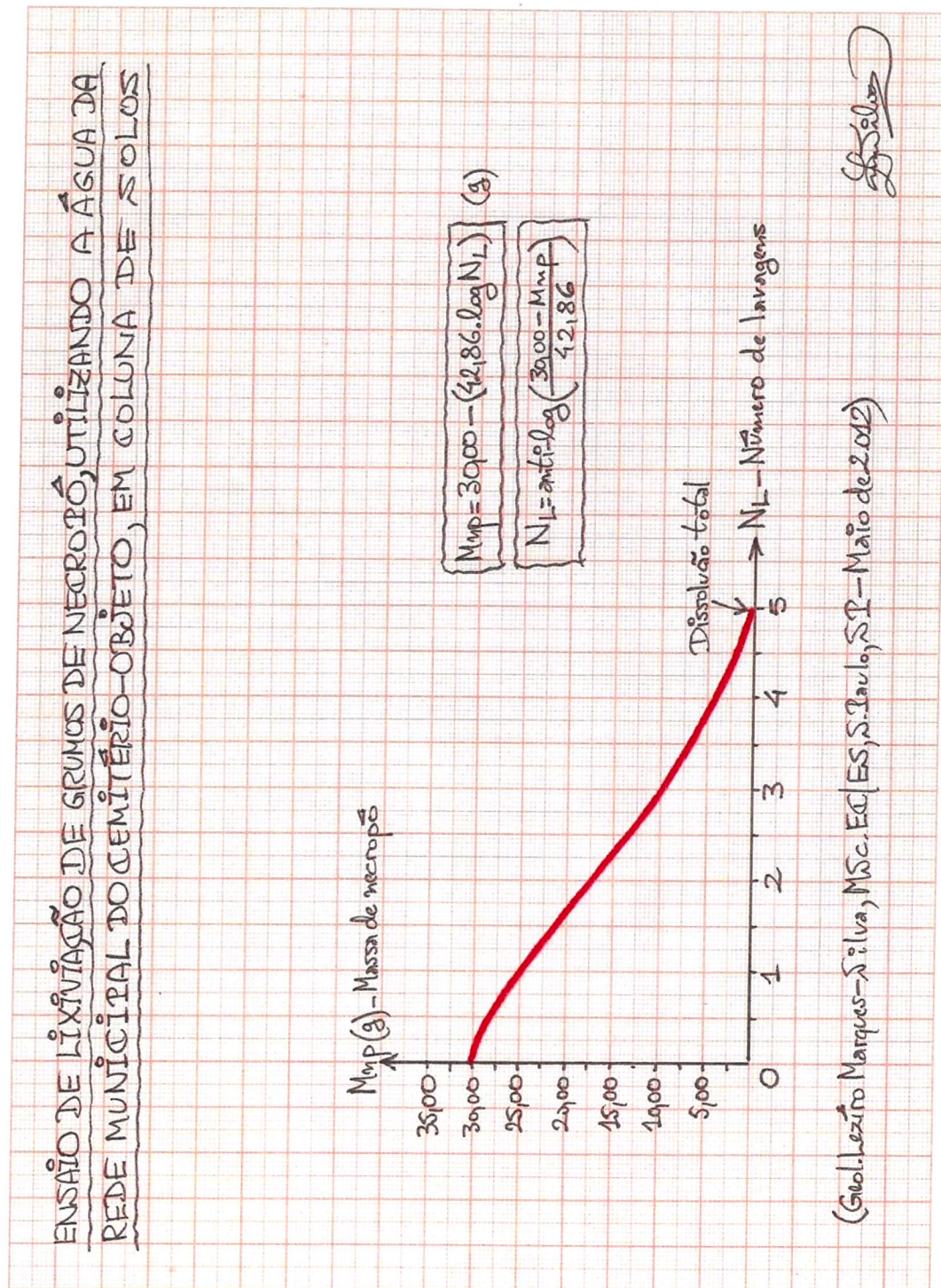
CAPACIDADE DE DEPURAÇÃO NATURAL DOS MACIÇOS DE SOLOS DO BRASIL



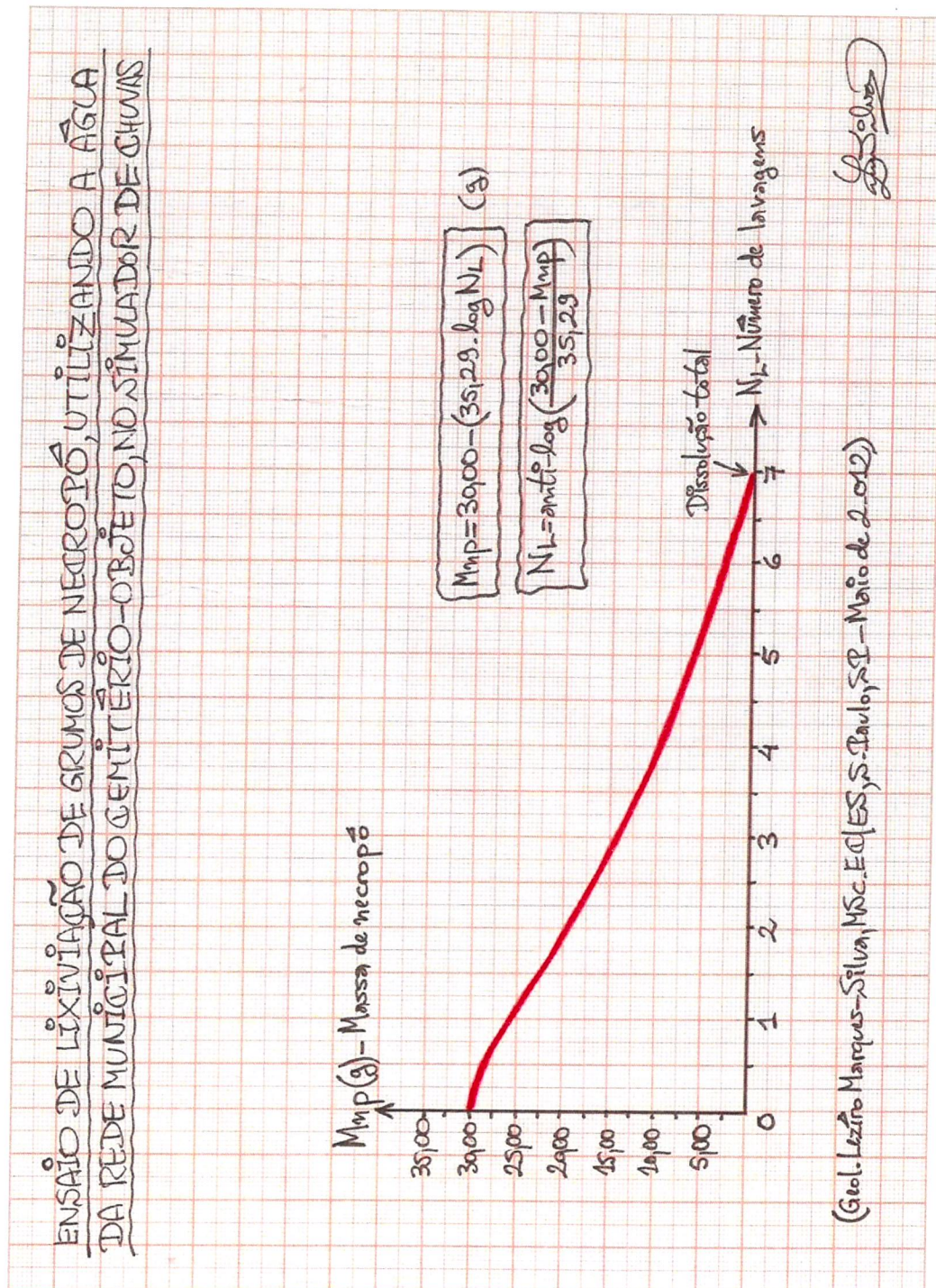
7.22 Ábaco da vulnerabilidade hidrogeoambiental dos maciços geológicos à percolação da água contendo poluentes, infiltrada no solo



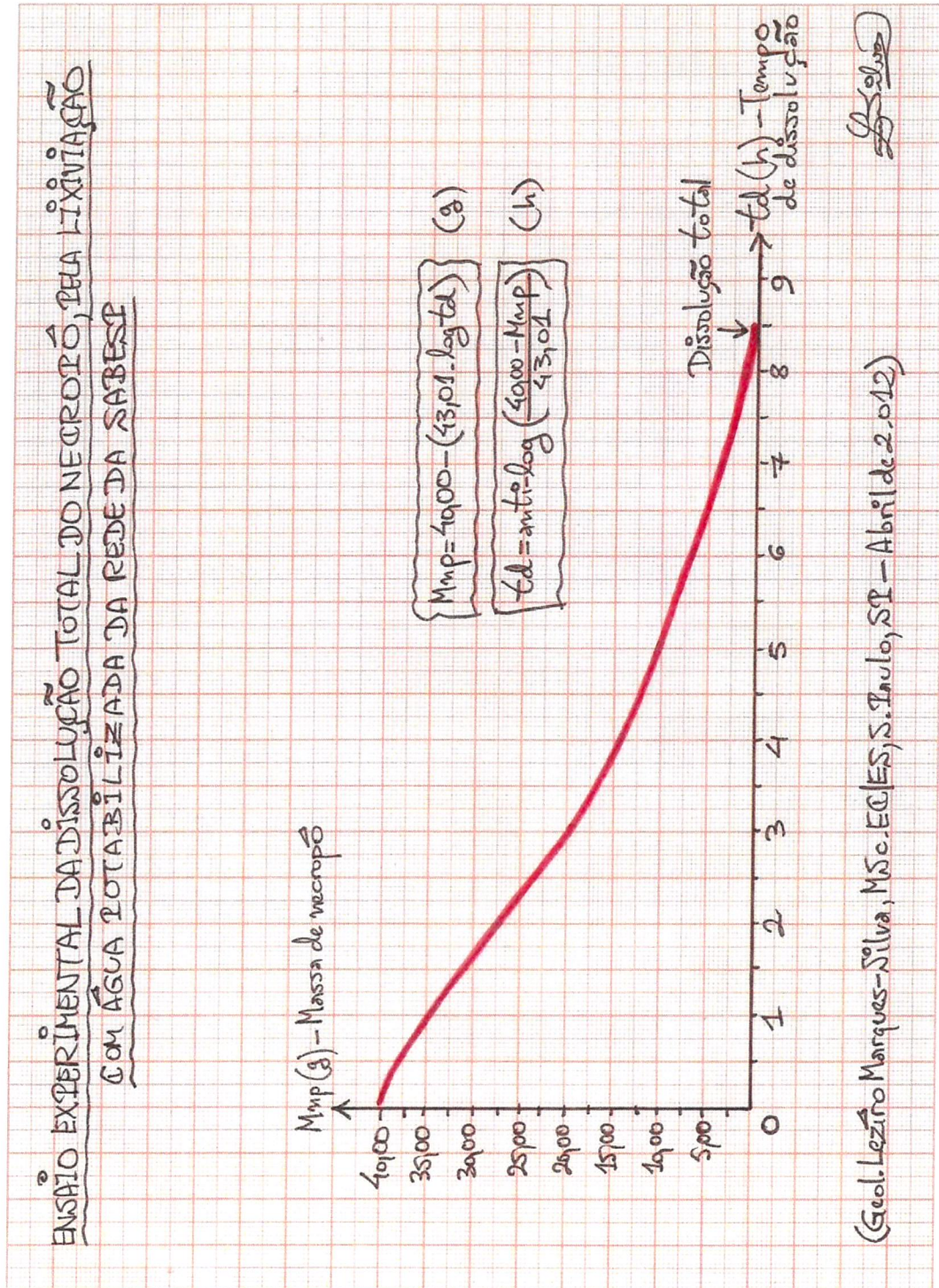
7.23 Gráfico do ensaio de lixiviação dos grumos de necrópó, utilizando a água da rede municipal do cemitério-objeto, em coluna de solos



7.24 Gráfico do ensaio de lixiviação dos grumos de necrópó, utilizando a água da rede municipal do cemitério-objeto, no simulador de chuvas

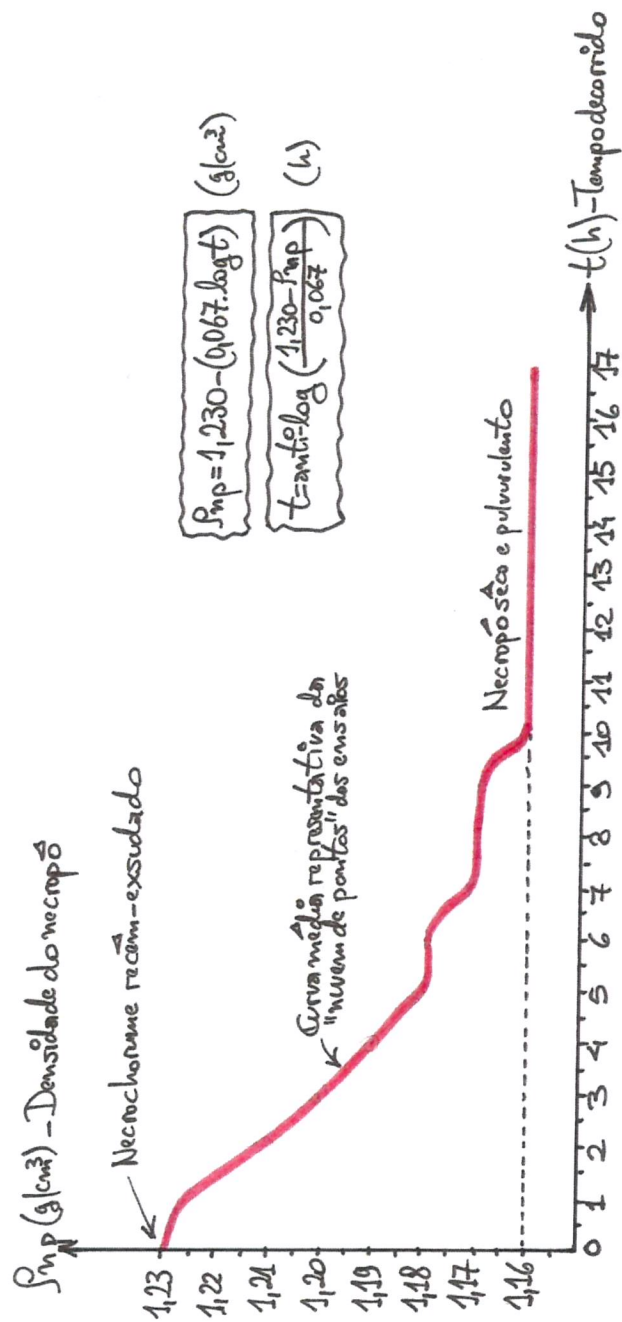


7.25 Gráfico do ensaio experimental da dissolução total do necrópo, pela lixiviação com água potabilizada da rede da SABESP



7.26 Gráfico do ensaio da variação da densidade do necrópó, em fase de secagem natural

ENSAIO DA VARIAÇÃO DA DENSIDADE DO NECRÓPÓ EM FASE DE SECA GEM NATURAL

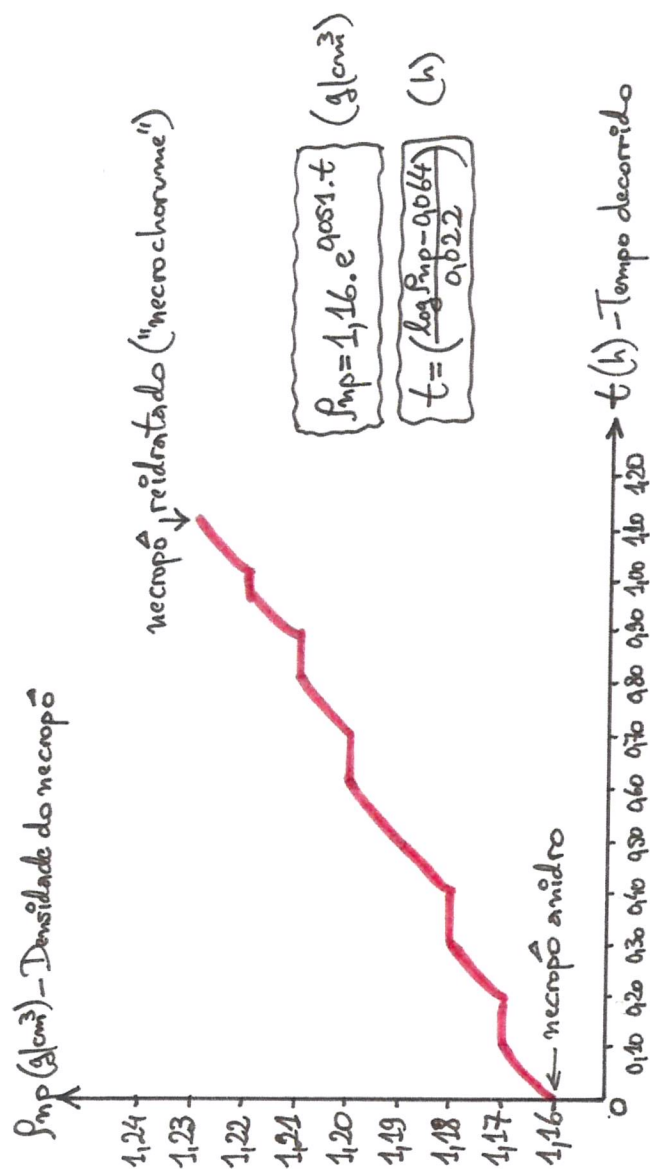


(Geol. Leziro Marques-Silva, MSc. ECL/ES, São Paulo, Maio de 2.012)

Leziro Marques-Silva

7.27 Gráfico do ensaio de reidratação do necrópó seco, com água destilada

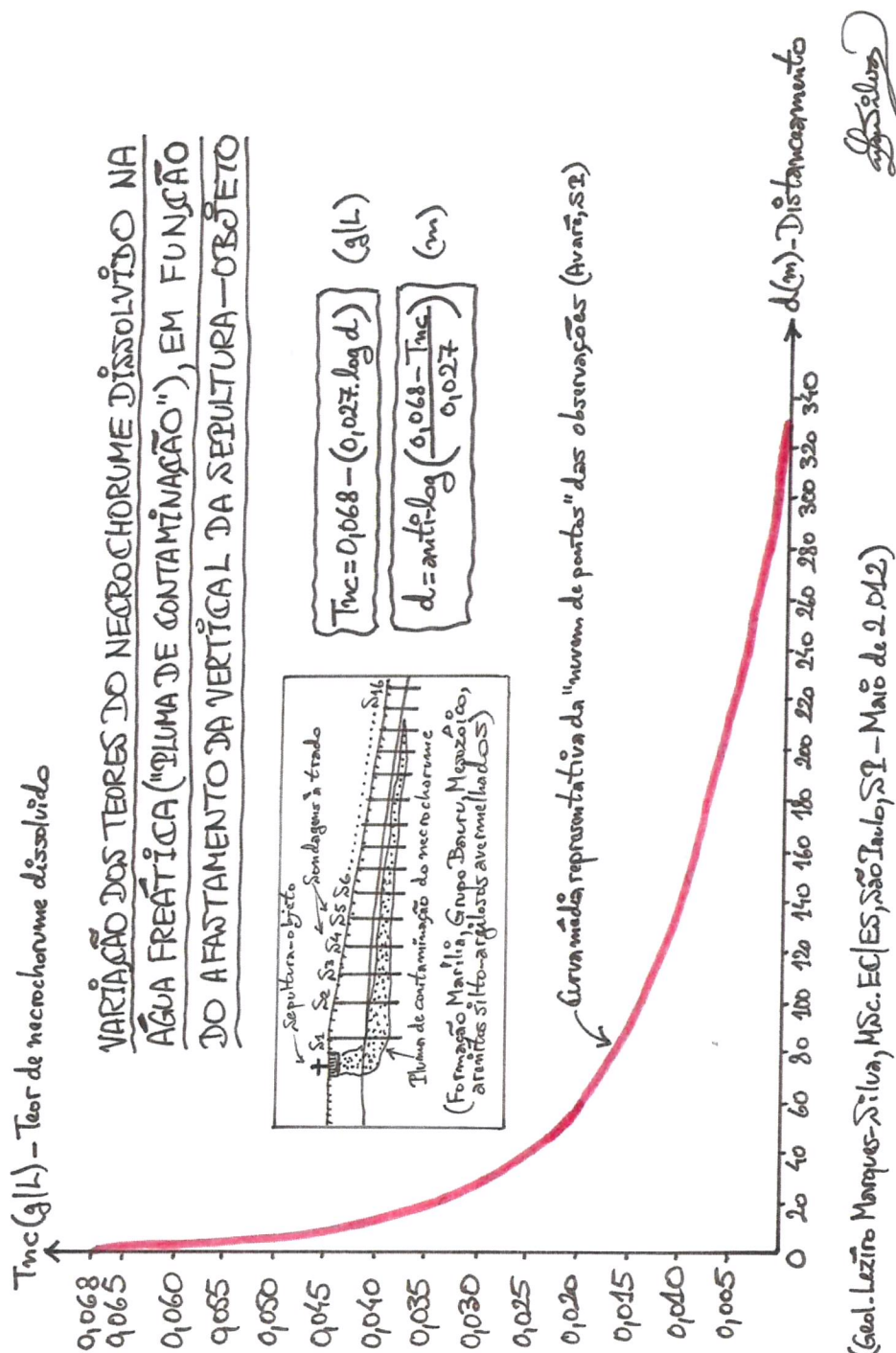
ENSAIO DE REIDRATAÇÃO DO NECRÓPÓ SECO, COM ÁGUA DESTILADA



(Geol. Lezíro Marques-Silva, MSc. EC/ES, São Paulo, SP - Maio de 2.012.)

(Signature)

7.28 Gráfico da variação dos teores do necrochorume dissolvido na água freática em função do afastamento da sepultura-objeto

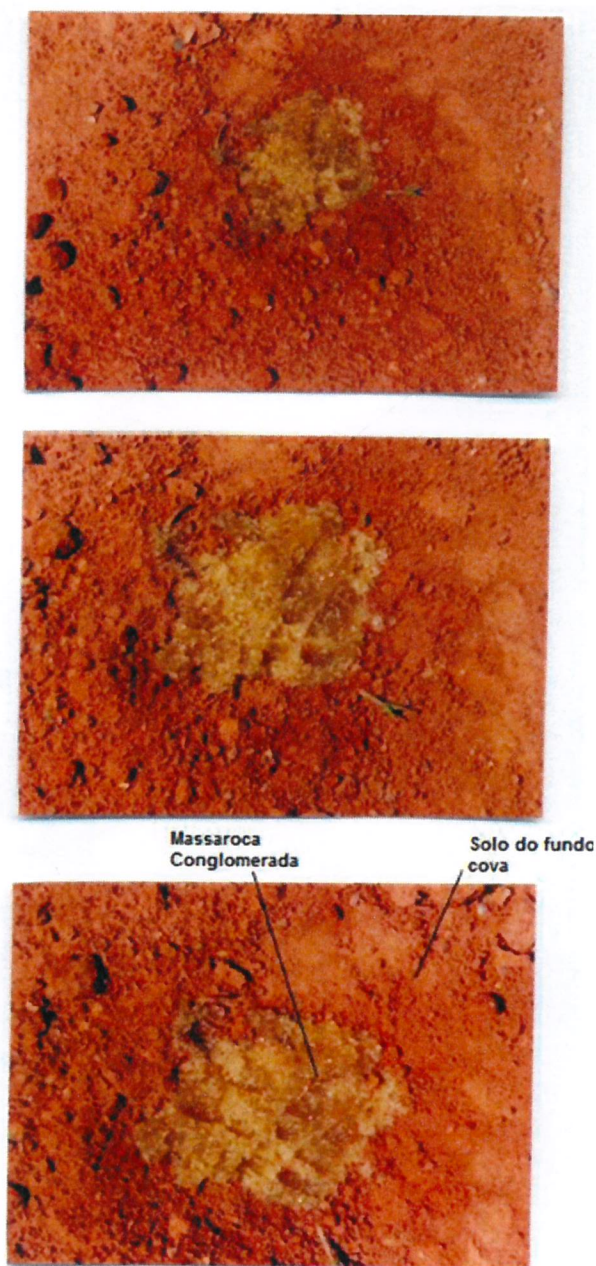


7.29 Documentário Fotográfico

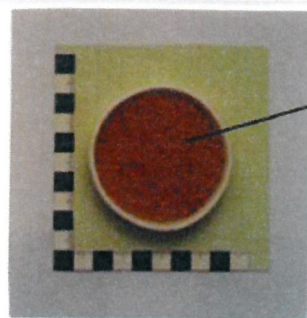


Sepultura objeto da presente pesquisa, contendo um corpo adulto inumado há mais de um ano, com putrefação normal.

CETESB - Companhia Ambiental
do Estado de São Paulo
BIBLIOTECA



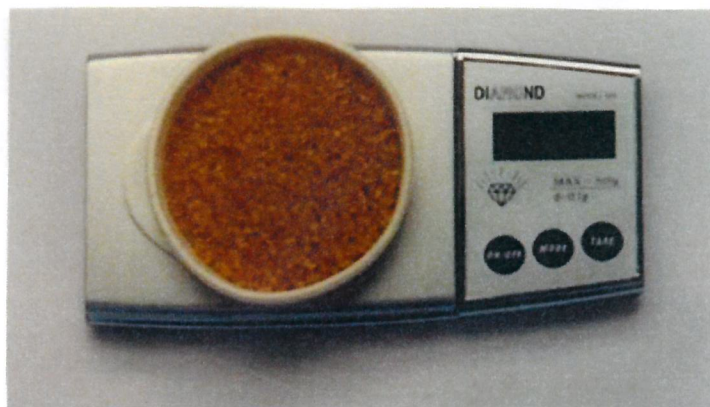
Exsudatos cadavéricos secos, de premeio ao solo de cova onde foi inumado e exumado um corpo, cemitério municipal da RMSP.



Amostras
preparadas com
massarocas
esxudadas
cadavéricas
recolhidas em
exumação

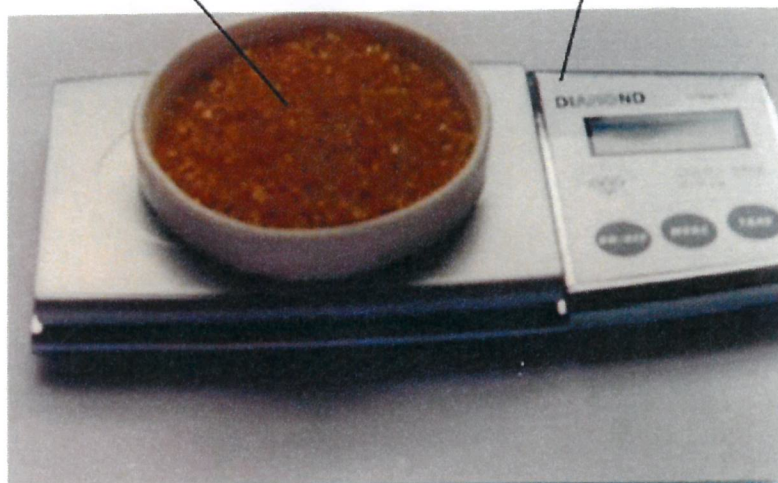


Preparação da amostra de massaroca de exsudatos cadavéricos secos, para os ensaios de lavagem-solubilização-lixiviação.



Exsudato cadavérico pronto
para os ensaios (25g)

Balança eletrônica
de precisão



Pesagem de massaroca secas preparadas para os ensaios de lavagem-solubilização-lixiviação (25g de material desagregado das massarocas recolhidas nos cemitérios municipais da RMSP, livre de terra e outros resíduos).

7.30 Infográfico ilustrativo da decomposição de corpos



FONTES: Dr. Juarez Montenegro, professor de medicina forense da Academia de Polícia Civil do Estado de São Paulo; Projeto Antropo da Universidade de British Columbia (Uk); Laboratório Nacional de DNA Ridge; Universidade de Antropologia Forense do Tennessee