

ESTUDO DA INTERAÇÃO DE VINHOTO COM UMA ARGILA DE
BAIXA PLASTICIDADE DA REGIÃO DO MUNICÍPIO DE CAMPOS
DOS GOYTACAZES - RJ

ALESSANDRO DA CUNHA ALVES

“Dissertação de mestrado
apresentado ao Centro de
Ciência e Tecnologia da
Universidade Estadual Norte
Fluminense, como parte das
exigências para obtenção do
título de Mestre em Engenharia
Civil”

Orientador: Prof. Sérgio Tibana
Co-orientador: Prof. Frederico Terra de Almeida

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
Julho – 2007

**ESTUDO DA INTERAÇÃO DE VINHOTO COM UMA ARGILA DE BAIXA
PLASTICIDADE DA REGIÃO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES RJ**

ALESSANDRO DA CUNHA ALVES

"Dissertação de mestrado apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil"

Aprovada em 31/07/2007

Comissão Examinadora:



Prof. Sérgio Tibana (D.Sc.) - UENF



Prof. Rejane Nascentes (D.Sc.) - UFMT



Prof. Izabel Christina Duarte Azeyedo (D.Sc.) - UFV



Prof. Rodrigo Martins Reis (D.Sc.) - UENF

Dedico este trabalho à Maria Luiza, José,
Ângela e Anderson, os meus familiares.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a toda minha família.

As minhas coorientadoras Izabel Christina d'Almeida Duarte de Azevedo e Rejane Nascentes, por todo apoio.

Ao meu coorientador Rodrigo Reis, pela colaboração.

Ao professor Frederico, que foi o idealizador do projeto e que colaborou em muito para a realização dos objetivos.

Ao meu orientador Sérgio Tibana pelo estímulo, pela paciência, preocupação, colaboração, competência profissional e grande amizade desde o início.

Aos meus amigos, pelo companheirismo, amizade e oportunidade de convivência, em especial, Francisco, Oscar, Adilson, José Augusto e Dona Araci pelo valioso auxílio.

À Juliani Salvini que foi uma pessoa bastante especial durante essa fase de minha vida.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense, através do Departamento de Engenharia Civil, pela oportunidade de realizar meu curso de Mestrado.

À FAPERJ, pelo apoio financeiro concedido através de Bolsa.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	IX
Lista de Tabelas	XI
Lista de Símbolos	XII
Resumo	XIII
Abstract	XIV
1 – Introdução	1
2 – Objetivos	3
3 – Revisão Bibliográfica	4
3.1 – Considerações Gerais	4
3.2 – Vinhoto: resíduo da produção sulcroalcooleira	5
3.3 – Principais Mecanismos de Transporte nos Solos	5
3.3.1 – Movimentos de solutos no solo	5
3.3.2 – Processos Físicos	7
3.3.2.1 – Advecção	7
3.3.2.2 - Dispersão Hidrodinâmica	8
3.3.3.3. - Dispersão Mecânica	9
3.3.3.4. - Difusão molecular	10
3.3.3 – Processos Químicos	11
3.3.3.1 – Sorção	11
3.3.3.2 – Fator de retardamento e o coeficiente dispersão-difusão	12
3.3.3.3 - Decaimento de Primeira Ordem	13
3.4 - Equação Transiente e Unidimensional de Transporte de Massa	14

4 – Descrição dos materiais	16
4.1 – Solo	16
4.2. – Visita a campo para reconhecimento da área e coleta de vinhoto	17
5 – Programação dos Ensaio de Laboratório	20
5.1 - Considerações Gerais	20
5.2 – Caracterização Física do solo	22
5.3 - Ensaio de permeabilidade	22
5.3.1 - Ensaio de permeabilidade á carga variável	22
5.3.2 - Confecção dos corpos de prova	23
5.3.3 - Ensaio de permeabilidade á carga constante	24
5.4 – Caracterização Química do Solo	24
5.4.1 – Ensaio de Interação Direta do Solo e do Vinhoto	25
5.4.2 – Ensaio EDX	25
5.5 - Caracterização do vinhoto	26
5.5.1 - Variação da densidade e pH do Vinhoto	26
5.5.2 – Análise química do vinhoto	26
5.5.3 - Estudo da degradação biológica do vinhoto	27
5.5.4 – Análise Microbiológica do vinhoto	27
6 - Ensaio em Colunas	29
6.1 – Fundamentos e montagem do sistema	29
6.2 – Curvas de Chegada	31
6.3 – Coeficiente de dispersão ‘D’	33
6.4 - Dimensionamento das colunas	33

7 - Resultados e discussões	35
7.1 Caracterização física do solo	35
7.2 - Ensaio de permeabilidade	38
7.2.1 - Ensaio de permeabilidade á carga variável	38
7.2.2 - Ensaio de permeabilidade á carga constante	38
7.2.2.1 - Ensaio de permeabilidade à carga constante com água	39
7.2.2.2 - Ensaio de permeabilidade à carga constante ao vinhoto	41
7.3 – Caracterização química do solo	43
7.3.1 – Ensaio de Interação Direta do Solo e do Vinhoto	43
7.3.1.1 – pH e Alumínio	44
7.3.1.2 – Carbono e Matéria Orgânica (MO)	45
7.3.1.3 – Potássio, Magnésio, Cálcio, Sódio e Fósforo	45
7.3.1.4 – Capacidade de Troca Catiônica (CTC)	46
7.3.1.5 – Ferro, Cobre, Zinco, Manganês e Boro	47
7.3.2 – Ensaio EDX	48
7.4. Caracterização do vinhoto	49
7.4.1 – Variação da Densidade e do pH do Vinhoto	49
7.4.2. – Caracterização química do vinhoto	51
7.4.3. – Estudo da degradação biológica do vinhoto	51
7.4.4 – Análise Microbiológica do Vinhoto.	52
7.5 – Parâmetros dos Mecanismos de Transporte de Massa	55
7 – Conclusões	68
Referências Bibliográficas	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Mecanismos físicos de mistura mecânica em escala microscópica.....	9
Figura 4.1 – Localização da área de estudo.....	16
Figura 4.2 – Área escolhida para coleta da amostra	17
Figura 4.3 – Vinhoto conduzido em canais	18
Figura 4.4 – Vinhoto armazenado em lagoas	18
Figura 4.5 – Formação de espuma no vinhoto	18
Figura 5.1 – Permeâmetro de carga variável	23
Figura 5.2 - Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva	26
Figura 6.1 – Sistema de percolação em coluna	30
Figura 6.2 – Página inicial do programa computacional DISP	32
Figura 7.1 (a) sedimentação com vinhoto; (b) sedimentação com água destilada; (c) sedimentação com hexametáfosfato de sódio	35
Figura 7.2 - Distribuição granulométrica do solo com diferentes procedimentos	36
Figura 7.3 – Curva de compactação	37
Figura 7.4 – Resultado dos ensaios de permeabilidade ao vinhoto à carga variável	38
Figura 7.5 (a) – Volume de água percolado por tempo para gradiente 20	39
Figura 7.5 (b) – Volume de água percolado por tempo para gradiente 15	40
Figura 7.5 (c) – Volume de água percolado por tempo para gradiente 10	40
Figura 7.6 (a) – Volume de vinhoto percolado por tempo para gradiente 20	41
Figura 7.6 (b) – Volume de vinhoto percolado por tempo para gradiente 15	42

Figura 7.6 (c) – Volume de vinhoto percolado por tempo para gradiente 10 ...	42
Figura 7.7 - Variação da densidade x tempo	50
Figura 7.8 - Variação do pH x tempo	50
Figura 7.9 – Placa inoculada com vinhoto congelado (Meio Ágar com caldo nutritivo).	52
Figura 7.10 - Placa inoculada com vinhoto congelado (Meio Ágar com BHI). ..	52
Figura 7.11 – Placa inoculada com vinhoto à temperatura ambiente (Meio Ágar com caldo nutritivo).	53
Figura 7.12 – Placa inoculada com vinhoto à temperatura ambiente (Meio Ágar com BHI).	53
Figura 7.13 - Células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	54
Figura 7.14 – Curva de chegada de N para o CP01	59
Figura 7.15 – Curva de chegada de N para o CP02	60
Figura 7.16 – Curva de chegada de N para o CP03	61
Figura 7.17 – Curva de chegada de K para o CP01	62
Figura 7.18 – Curva de chegada de K para o CP02	63
Figura 7.19 – Curva de chegada de K para o CP03	64
Figura 7.20 – Relação entre a dispersão hidrodinâmica e a velocidade média (N)	65
Figura 7.21 – Relação entre a dispersão hidrodinâmica e a velocidade média (K)	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Métodos utilizados nas análises	21
Tabela 5.2 – Índices físicos dos corpos de prova	24
Tabela 7.1 – Resultados dos ensaios de caracterização	37
Tabela 7.2 - Resultados dos ensaios de permeabilidade	43
Tabela 7.3 – Relação entre o Al e pH do solo após 4 meses de interação solo/vinhoto.	44
Tabela 7.4 – Relação entre C e MO após 4 meses de interação solo/vinhoto ..	45
Tabela 7.5 – Teores de Potássio, Magnésio, Sódio.	46
Tabela 7.6 – Teores de Potássio, Magnésio e Cálcio e índices de CTC..	47
Tabela 7.7 – Níveis de Ferro, Cobre, Zinco, Manganês e Boro	48
Tabela 7.8 - Composição química do solo com vinhoto por meio de ensaio EDX	49
Tabela 7.9 - Composição química do vinhoto (filtrado)	51
Tabela 7.10 - Composição química do vinhoto (não filtrado)	51
Tabela 7.11 – Níveis de N e K no estudo de degradação biológica do vinhoto .	52
Tabela 7.12 – N° de volume de poros e concentrações de Nitrogênio e Potássio	55
Tabela 7.13 – Concentrações relativas para o Nitrogênio.	57
Tabela 7.14 – Concentrações relativas para o Potássio.	58
Tabela 7.15 - Relação de 'D' e 'R' do Nitrogênio e Potássio dos corpos de prova.	65
Tabela 7.16 – Análise química dos corpos de prova dos ensaios em colunas. .	67

LISTA DE SÍMBOLOS

D = Coeficiente de dispersão hidrodinâmica ($L^2 T^{-1}$)

α = Coeficiente de mistura mecânica ou dispersividade (L)

v = Velocidade de percolação do fluido ($L.T^{-1}$)

D_m = Coeficiente de difusão molecular do soluto no meio ($L^2 T^{-1}$)

D_e = Coeficiente de difusão efetiva, ($L^2 T^{-1}$).

K_o = Constante de decaimento de primeira ordem

R = Fator de retardamento

V_v = Volume de vazios

$D_{âm}$ = Diâmetro (cm)

H = Altura (cm)

A = Area (cm^2)

M_t = Massa total (g)

G = Densidade real dos grãos

e = Índice de vazios

n = porosidade

Resumo

Em Campos dos Goytacazes, o vinhoto, um dos subprodutos da produção de açúcar e álcool em usinas de cana-de-açúcar, vem sendo utilizado intnsamente nas áreas de plantação para ferti-irrigar o solo devido o elevado teor de micro-nutrientes existentes na sua composição química. Entretanto, se por um lado a ferti-irrigação pode favorecer as lavouras com o bom desenvolvimento da cana-de-açúcar, no que diz respeito à qualidade e ao tempo de maturação da plante, por outro lado a ferti-irrigação pode causar a contaminação do lençol freático. Dentro deste contexto, o principal objetivo deste trabalho é a investigação da interação do vinhoto com um solo da refião de Campos dos Goytacazes. Neste trabalho o nitrogênio e o potássio foram escolhidos como referencia para avaliar a interação tendo em vista os elevados teores destes na composição química do vinhoto e as exigências dos órgãos ambientais que limitam os teores de nitrato na água para considerá-la adequada para o consumo humano. O programa experimental consistiu de ensaios de caracterização de solos, conforme as normas técnicas da ABNT, análises química de amostras de solo e do vinhoto, ensaios de compactação, ensaios de permeabilidade e de coluna com corpos reconstituídos. Os resultados sugerem que o solo em questão não é uma boa barreira para os poluentes investigados.

Abstract

In Campos dos Goytacases (BRAZIL) city, the vinasse, one of the residues from alcohol and sugar in sugar-cane industries, has been largely used in plantation areas in order to ferti-irrigate the soil due to its high concentration of micronutrients in its chemical composition. However, if by one hand the ferti-irrigation with vinasse can be favorable to the sugar-cane, considering the qualith and the growing time of it, on the other hand the ferti-irrigation can cause the contamination of the groundwater. Thus, the main aim of this work is to investigate the interaction between vinasse and soil that is found in Campos dos Goytacazes. The nitrogenium and the potassium were chosen as reference to evaluate their interaction dus to the high concentration of both in vinasse chemmical composition and the environmental agencies requirement that limit the concentration of nitrate in the ground-water in order to consider it clean to human use. The experimental program deals to physical characterization tests, according to Brazilian ABNT recommendations, chemical analyses of soils samples and vinasse, compactation tests, and permeabilit and difusion tests with reconstitutives specimens. The results of this work suggest that the soil investigated is not a good natural barrier to these pollutant.

I - INTRODUÇÃO

A porção de água subterrânea representa cerca de 97% da água doce líquida existente do planeta, segundo Rebouças (1999), o que mostra a importância econômica, social e ambiental desse recurso.

Com o aumento da população mundial e da procura por novas formas de energia, aumentou-se em muito a demanda tanto pela utilização de águas subterrâneas para diversos fins quanto pelo uso do solo para fins agrícolas, dentre outros. Em consequência, ampliaram-se também as formas de contaminação desses recursos, sendo as causadas por ação antrópica as principais, como, por exemplo, a disposição inadequada de resíduos.

Embora as águas subterrâneas sejam muito menos susceptíveis à contaminação que as águas superficiais, existe a possibilidade de contaminação através da percolação de contaminantes através do solo, podendo assim, provocar a deterioração da qualidade desse recurso e, em consequência, pondo em risco a saúde e o bem estar humano.

A região do Município de Campos dos Goytacazes, no norte do Estado do Rio de Janeiro, dispõe de grandes áreas de plantação de cana-de-açúcar, sendo uma região que produz muito açúcar e álcool. Conseqüentemente, são gerados muitos resíduos advindos dessa produção. O principal resíduo industrial da produção de álcool é o vinhoto ou vinhaça. No processo de destilação, há a produção de vinhoto na razão de 12 a 13 litros por litro de álcool produzido (Medina e Brinholi, 1998). É considerado altamente poluente se for despejada no solo uma dosagem maior que o mesmo pode reter. Durante anos, diversos acidentes ecológicos ocorreram pelo descarregamento indiscriminado do vinhoto, principalmente em cursos d'água. Assim, devido ao grande volume deste efluente industrial produzido pelas destilarias de álcool, justifica-se o interesse em se estudar seus mecanismos de interação e transporte no solo.

Para a realização dos estudos que são apresentados neste trabalho, foram coletadas amostras de vinhoto proveniente da usina Coagro, em Campos dos Goytacazes RJ. Também foram coletadas amostras de solo da região, que foram devidamente caracterizadas segundo as normas técnicas da ABNT.

O programa experimental consistiu de ensaios de caracterização física do solo, caracterização química, tanto do solo como do vinhoto, análise microbiológica do vinhoto, ensaios de permeabilidade ao vinhoto e à água, tanto à carga constante como à carga variável e ensaios não convencionais, como por exemplo, ensaios de sedimentação comparativa, ensaio de degradação biológica, ensaios diretos de interação e ensaios em coluna.

Esta dissertação se divide em oito capítulos. No segundo capítulo apresentam-se os objetivos que motivaram o trabalho. No terceiro capítulo faz-se uma revisão da literatura observando aspectos relacionados ao vinhoto e a mecanismos de transporte de poluentes no solo como, por exemplo, a advecção, a adsorção, a dispersão e o decaimento. No quarto capítulo explica-se a escolha do tipo e da localização do solo utilizado e também o local de coleta do vinhoto. No quinto capítulo apresenta-se a programação e detalhamento dos ensaios realizados. No sexto capítulo descreve-se o ensaio de percolação em coluna relatando os fundamentos do sistema e também o dimensionamento dos corpos de prova e a escolha dos materiais das colunas. No sétimo capítulo apresentam-se os resultados obtidos e no oitavo apresenta as conclusões e sugestões para novas pesquisas.

2 – OBJETIVO

Esta dissertação de mestrado tem como objetivo principal avaliar a interação entre um solo encontrado na região de Campos dos Goytacazes e o vinhoto utilizado na ferti-irrigação nas áreas de cultivo da cana-de-açúcar. A programação de ensaios de laboratório consistiu de ensaios de caracterização, ensaios de compactação, ensaios de permeabilidade com carga variável e constante, análises químicas em amostras de solo e de vinhoto, ensaios de coluna e análise microbiológica do vinhoto. Os ensaios de caracterização de solos seguiram os procedimentos preconizados nas normas técnicas brasileira e também procedimentos não usuais que são descritos no capítulo de metodologia.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 – Considerações iniciais

O uso da terra para as atividades agrícola, pecuária e industrial tem acarretado, como conseqüência elevados níveis de contaminação. De fato, aos usos referidos associam-se, geralmente, descargas acidentais ou voluntárias de poluentes no solo e em corpos d'água, deposição não controlada de produtos que podem ser resíduos perigosos, deposições atmosféricas resultantes das várias atividades, dentre outros.

Os processos de contaminação no solo ocorrem, de um modo geral, lentamente e, freqüentemente, sem conseqüências trágicas imediatas, porém em longo prazo, podem ter efeitos sérios e possivelmente irreversíveis. A contaminação do solo tem-se tornado uma das grandes preocupações ambientais da sociedade, pois, geralmente, a contaminação interfere no ambiente global da área afetada (solo, águas superficiais e subterrâneas, ar, fauna e vegetação), podendo mesmo estar na origem de problemas de saúde pública.

Segundo Boscov (1997) a contaminação do solo é a principal causa da deterioração das águas subterrâneas.

Segundo Paganini (1997), a utilização incorreta das águas residuárias pode promover efeitos adversos ao solo e plantas.

Melo (1978) alerta que, apesar do uso de efluentes promover economia de água e fertilizantes, reciclagem de nutrientes e aumento da produção agrícola, podem surgir problemas tanto para o solo e culturas (se, por exemplo, nitrogênio e outros nutrientes forem aplicados em demasia), como para o homem e os animais quando houver a presença de organismos patogênicos no efluente.

Para Ayers e Westcot (1991), a irrigação com águas residuárias pode contaminar os solos, o ar, as águas subterrâneas e as plantas de áreas vizinhas aos campos irrigados.

Oliveira (1993) adverte quanto ao fato de que as necessidades nutricionais de uma determinada cultura provavelmente não seriam integralmente supridas somente com a aplicação de efluentes no solo, pois as proporções de N, P e K são, geralmente,

diferentes das demandadas pelas culturas, havendo necessidade de complementação com fertilizantes minerais.

Oliveira et al. (2000) descrevem que podem ocorrer alterações na capacidade de infiltração do solo ocasionadas pela colmatação dos macroporos e pela formação de crostas em sua superfície, quando a irrigação é realizada com líquidos contendo altas concentrações de sólidos.

3.2 – Vinhoto: resíduo da produção sulcroalcooleira

Ao mesmo tempo em que existe uma grande busca por novas formas de energia, tem-se preocupado cada vez mais com as questões ambientais. No caso da produção de álcool, a preocupação é com os resíduos da produção. O principal resíduo industrial das destilarias é o vinhoto ou vinhaça. Com a destilação do vinho (produto resultante da fermentação) há a produção de vinhoto na razão de 12 a 13 litros por litro de álcool produzido (Medina e Brinholi, 1998).

Em média, sua composição básica é de 93% de água e 7% de sólidos (orgânicos e minerais), possui alto teor de potássio (K) e nitrogênio total além de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P) em menores concentrações (Ferreira, 1980, citado por Busato, 2004).

Segundo Rosseto (1977), o vinhoto, por apresentar concentrações relativamente elevadas de nutrientes como potássio, cálcio e magnésio, e significativos teores de matéria orgânica, pode ser utilizado na fertilização dos canaviais. Seu uso, normalmente, promove a elevação da produtividade de colmos, contudo, pode diminuir os rendimentos se for aplicado em excesso.

A utilização intensiva da vinhaça nos solos cultivados com cana-de-açúcar surgiu devido à produção de mais de 150 bilhões de litros desse resíduo por safra, ou seja, cerca de 1.000 litros de efluentes líquidos por tonelada de cana-de-açúcar moída (RODELLA & FERRARI, 1977), que anteriormente eram, em grande parte, despejados nos rios e lagoas próximos às redondezas das usinas e destilarias.

Segundo Xavier (1970), até alguns anos atrás, o não aproveitamento desse efluente, e a prática de descarregá-lo sem tratamento prévio em rios, constituíam o maior problema ambiental provocado por essa atividade agro-industrial.

Segundo Viana (1988), deve-se considerar a possibilidade de se converter a matéria orgânica do vinhoto em metano, pois essa prática, a medida que vai neutralizando o pH do efluente, minimiza os eventuais riscos com acidentes durante o manuseio e facilita sua aplicação na lavoura.

Lamo (1991) demonstrou o potencial energético de uma tonelada de cana. Observa-se que uma tonelada de cana pode gerar $909,90 \times 10^3$ kcal de energia (álcool + biogás). Porém, caso não se aproveite o biogás resultante da biodigestão da vinhaça, deixa-se de recuperar 7,5% do total de energia disponível em uma tonelada de cana.

Conforme Andriolli (1986) a aspersão de água pura, logo após a aplicação do vinhoto, promove a eliminação de resíduos das folhas e redução dos teores de sais na camada superficial do solo. O desequilíbrio dos minerais N, P e K presente na composição do vinhoto pode ser corrigido com a adição de adubos comerciais, conforme as necessidades da planta e da deficiência dos mesmos no solo.

3.3 – Principais Mecanismos de Transporte nos Solos

3.3.1 – Movimento de solutos no solo

Segundo Prevedello (1996), quando se movimenta no solo, a água transporta os solutos, podendo uma parte destes ser absorvida pelas plantas, outra parte ser adsorvida pelo solo, ou precipitada. Contudo, não só ao deslocamento da água se deve a movimentação de solutos. Os solutos podem difundir-se na água, em resposta a gradientes de concentração, ou podem reagir entre si e interagir com a matriz do solo, interrelacionando uma sucessão cíclica de processos físicos e químicos. Nessas interações são envolvidas características químicas, mineralógicas e físicas do solo, como a acidez, temperatura, potencial de oxi-redução, composição e concentração da solução do solo.

Para Ferreira (2001), ocorre o processo de deslocamento de fluidos miscíveis quando um fluido mistura-se com outro e o desloca. Como exemplos de deslocamento miscível, tem-se a lixiviação de sais no solo e a conseqüente movimentação de íons no perfil do solo.

Para Dodds et al. (1998) quando os fertilizantes se movimentam para camadas inferiores do solo, tornam-se inacessíveis às plantas e se transformam em risco de contaminação das águas subterrâneas.

Segundo Vieira e Ramos (1999), o nitrogênio, em todas as suas formas, se movimenta livremente no solo, como é o caso do NO_3^- , em que o nitrogênio é menos suscetível à adsorção pelos colóides do solo, estando sujeito a perdas por lixiviação e redução.

Segundo Garcia (2003), o fósforo, em geral, tem pouca movimentação na maioria dos solos, em especial nos argilosos, em virtude da forte adsorção e a formação de precipitados com os constituintes do solo. O cálcio e o magnésio tem menos mobilidade no solo, ficando retidos nas superfícies da argila e da matéria orgânica, que são carregadas negativamente.

De forma geral, pode-se dividir os mecanismos de transporte de solutos no solo em processos físicos e químicos. O item 3.2.2 e 3.2.3 abordam os principais processos físicos e químicos, respectivamente.

3.3.2 – Processos Físicos

3.3.2.1 - Advecção

Segundo Queiroz (2003) este é o mecanismo de transporte para fluidos livres em movimento como ventos, rios e oceanos. Quando o fluido percola através de um meio poroso como o solo, este tipo de transporte é chamado advectivo. Neste caso parte do volume por onde o fluido permeia está ocupado por sólidos, sendo o fenômeno que ocorre predominantemente em meios descontínuos, de alta permeabilidade, como areias, argilas fissuradas e rochas fraturadas.

Para Shackelford (1993) a advecção é o processo pelo qual os solutos são transportados pelo fluido (água, em geral), na direção das linhas de fluxo, devido a um gradiente na carga hidráulica total, sem que ocorra alteração de sua concentração na solução. Pode variar muito, em função da condutividade hidráulica do solo

3.3.2.2 - Dispersão Hidrodinâmica

Segundo Freeze e Cherry (1979), no processo de dispersão hidrodinâmica ocorre o espalhamento do soluto no meio poroso. Assim o contaminante passa a ocupar um volume maior do que se ocorresse apenas transporte por advecção. Desse modo, decresce o pico de concentração, enquanto a frente de contaminação movimenta-se mais rapidamente.

A dispersão hidrodinâmica é um fenômeno composto por duas parcelas: dispersão mecânica (D_m) e difusão molecular (D). Estes fenômenos uniformizam as concentrações dos solutos, sendo a difusão causada por um gradiente de potencial químico, que resulta na migração do soluto de regiões de maior concentração para as de menor concentração. Este fato pode explicar casos reais, nos quais, em meios de permeabilidade muito baixa, a difusão possa vir a ser o fenômeno de transporte predominante.

O coeficiente que descreve a dispersão hidrodinâmica (D_h) pode ser descrito como a soma dessas duas parcelas (Freeze e Cherry, 1979). Matematicamente, é um processo que pode ser descrito de acordo com a Equação 3.1.

$$D_h = D_m + D \quad (3.1)$$

Em que:

D_h = coeficiente de dispersão hidrodinâmica ($L^2 T^{-1}$);

α = coeficiente de mistura mecânica ou dispersividade (L);

v = velocidade de percolação do fluido ($L.T^{-1}$);

D = coeficiente de difusão molecular do soluto no meio ($L^2 T^{-1}$).

Para Cremasco (1998), a difusão consiste no transporte causado pelo movimento Browniano das moléculas (onde a mobilidade de uma molécula é devida à agitação térmica do meio em que ela se encontra) que se agitam aleatoriamente tendendo a uniformizar a distribuição do soluto no solvente. Segundo Queiroz (2002), esta uniformização é muito lenta e até meados da década de 80 era considerada desprezível em problemas ambientais.

3.3.2.3 - Dispersão Mecânica

Segundo Nobre (1987), dispersão mecânica é um fenômeno que provoca um espalhamento de solutos devido às variações de velocidade do fluido dentro do meio poroso.

Já segundo Freeze e Cherry (1979), em uma escala microscópica, a dispersão mecânica é o resultado de três mecanismos básicos. Primeiramente, acontece em canais individuais, quando a rugosidade superficial dos poros promove maior atrito entre as moléculas que, por isso, movem-se mais lentamente nessa posição que no centro do canal (Figura 3.1a). O segundo processo depende do tamanho dos poros na trajetória, sendo que a diferença na área superficial de contato entre o fluido e a superfície rugosa promove velocidade maior em poros de maior diâmetro e velocidade menor em poros de menor diâmetro (Figura 3.1b). O terceiro processo está relacionado com a tortuosidade, ou comprimento da trajetória de fluxo (Figura 3.1c), sendo a velocidade mais lenta quanto maior for a tortuosidade dos poros.

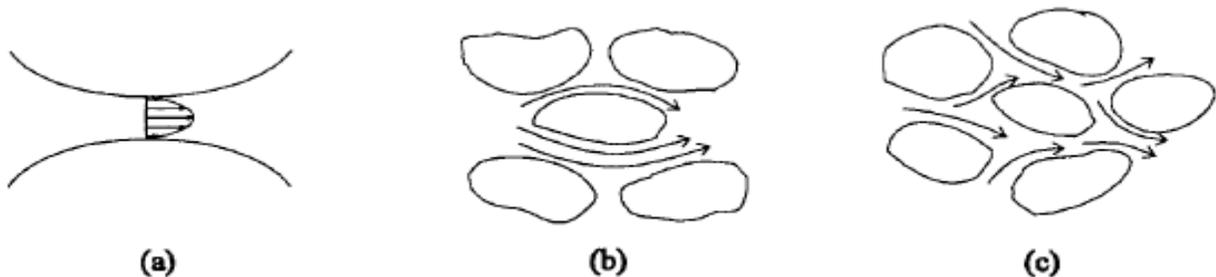


Figura 3.1 - Mecanismos físicos de mistura mecânica em escala microscópica.
Fonte: Freeze e cherry (1979)

A dispersão pode ser dividida em duas componentes: uma longitudinal e outra transversal à direção do fluxo. Geralmente a dispersão longitudinal é cerca de dez vezes maior que a transversal.

Dentre as principais causas da dispersão mecânica está o fato de o fluido no meio poroso não apresentar velocidade constante igual à velocidade média de advecção, e também pode-se citar a tortuosidade dos poros do solo, onde a geometria do meio poroso pode fazer com que as linhas de fluxo próximas se afastem.

3.3.2.4 - Difusão molecular

Freeze e Cherry (1979) definem difusão molecular como o processo no qual os constituintes iônicos e moleculares se movem sob a influência da energia cinética na direção do gradiente de concentração. Uma vez estabelecido o gradiente, as moléculas e íons tendem a se deslocar das regiões de maior concentração para as de menor, visando o equilíbrio. O transporte difusivo ocorre mesmo na ausência de fluxo hidráulico.

Fetter (1993) está de acordo com Freeze e Cherry ao afirmar que a difusão é o processo pelo qual tanto as espécies iônicas ou moleculares dissolvidas em água se movem de regiões de maior concentração para regiões de menor concentração.

A difusão ocorre em solos a uma taxa definida pelo coeficiente de difusão efetiva, D_e (L^2T^{-1}). Em solos de granulometria fina, em que as velocidades de fluxo são comumente baixas, a difusão molecular é o mecanismo de contaminação preponderante.

A difusão tende a ser atenuada em solos não saturados, em função do aumento da tortuosidade nas linhas de fluxo. Porém é de se esperar que a dispersão mecânica aumente em função do “afunilamento” dos canais de fluxo. Este fato é pouco considerado em implementações numéricas que visam contemplar o fenômeno do transporte advectivo em um solo não saturado submetido a um fluxo imposto.

O coeficiente de difusão molecular (D_m) é indiretamente dependente do teor de umidade, pois depende da tortuosidade do solo. À medida que o teor de umidade diminui, o caminho efetivo que o fluxo percorre, aumenta.

3.3.3 – Processos Químicos

3.3.3.1 - Sorção

Sorção é a partição de espécie químicas entre fases de solução e de solvente. Neste processo, quando moléculas dissolvidas deixam a fase líquida e entram na fase sólida diz-se que ocorreu adsorção. Quando as moléculas deixam a fase sólida e entram na fase líquida diz-se que ocorreu dessorção. Seja qual for o sentido do deslocamento, a partição continua até haver o equilíbrio.

Para Pignatelo (1989) o fenômeno da sorção consiste na impregnação de uma substância dissolvida em um fluido na parte sólida de um meio poroso durante a percolação. A ocorrência da sorção é muitas vezes considerada através de um fator de retardamento nas equações do transporte advectivo-dispersivo. Este fator é proporcional à intensidade da reação de sorção.

Segundo Rowe et al. (1995), sorção é o processo em que se remove o contaminante da solução, independente da natureza do processo, podendo incluir troca catiônica ou partição de compostos orgânicos na matéria orgânica sólida. Dessa forma e, estando de acordo com diversos autores, a sorção inclui os processos de adsorção, absorção, sorção química e troca iônica.

Segundo Nobre et al (1987), a adsorção é um fenômeno de retardamento, no qual a velocidade efetiva das espécies químicas é menor do que a da água contaminada.

Entende-se por dessorção a transferência de átomos, moléculas ou agregados de um sólido para a fase gasosa ou líquida. É o processo em que o soluto é liberado das partículas de solo para o fluido intersticial.

A absorção acontece no momento em que o soluto sofre difusão no interior das partículas porosas; o soluto é sorvido para o interior das partículas (1997).

O processo em que o soluto é incorporado à partícula sólida por uma reação química corresponde à sorção química.

Ao entrar em contato com a água muitas substâncias orgânicas e muitos minerais são capazes de atrair moléculas de água ou íons ou liberar alguns constituintes, devido a processos físico-químicos de adsorção e de sorção química.

Quando as posições das espécies iônicas são trocadas, o processo é denominado troca iônica.

De acordo com a EPA (1992), a adsorção química é uma ligação química real, geralmente covalente, entre uma molécula e átomos superficiais, em que a molécula pode perder sua identidade quando os átomos são rearranjados, formando novos compostos.

A formulação matemática que relaciona a concentração de espécies adsorvidas nos sólidos e a concentração na solução é geralmente referida como isoterma. É pelo coeficiente de distribuição K_d ou pela função de distribuição K_f a maneira mais utilizada para se quantificar esse processo. Segundo Freeze e Cherry (1979), quando a isoterma é linear, este coeficiente também atua como um indicador da mobilidade de um poluente num fluxo subsuperficial.

O conhecimento dos fenômenos de adsorção e de dessorção tem auxiliado a criar novas metodologias de remediação para amenizar os impactos ambientais produzidos no solo.

3.3.3.2 – Fator de retardamento e o coeficiente dispersão-difusão

Para Fetter (1993), no processo de adsorção, alguns solutos em percolação no solo, passam se movendo mais lentamente do que a água freática que os transporta. Este efeito é chamado de retardamento. Desse modo, um modo de introduzir os processos de sorção na equação advecção-dispersão do transporte de solutos é considerar o transporte em termos de retardamento do movimento dos contaminantes, com a utilização de um fator de retardamento, R , que representa a razão entre a velocidade do fluido e a velocidade de transporte para o centro de massa de um soluto reativo (Freeze et al. 1979).

Segundo Matos et al. (1998), o retardamento é inversamente proporcional a relação entre mobilidade e adsorção de solutos à fração sólida ou às condições do meio, que favoreçam a precipitação dos íons. A adsorção faz com que os íons mantenham intercâmbio com aqueles presentes na solução do solo, proporcionando, ora sua adsorção na fração sólida do solo, ora disponibilização no meio aquoso.

Segundo Garcia (2003), a existência de diversas espécies de cátions no solo promove competição entre eles, facilitando a lixiviação daqueles com menor poder de adsorção pelos sítios da matriz sólida, o que constitui uma advertência quanto ao risco de contaminação dos mananciais de água subterrânea.

Para Campos e Elbachá (1991), o fator de retardamento é a capacidade de retenção ou efeito tampão do solo, para um elemento ou composto existente em um resíduo. Já para Valocchi (1984), o fator de retardamento representa a defasagem entre a velocidade de avanço de um soluto e a velocidade de avanço da frente de molhamento da solução percolante. É uma característica que, indiretamente expressa a capacidade do solo em reter íons.

O coeficiente dispersivo-difusivo, para Van Genuchten e Wierenga (1986), é uma característica física da equação de transporte de solutos, que expressa o efeito aditivo de dois fenômenos de mistura na interface de dois solutos.

3.3.3.3 - Decaimento de Primeira Ordem

A seguir é apresentada a Equação 3.2 que descreve o mecanismo do decaimento de primeira ordem:

$$\frac{dC}{dt} = -k_0C \quad \text{eq. (3.2)}$$

Em que C é a concentração do contaminante; t é o tempo e k_0 , também conhecido por λ , é a constante de decaimento de primeira ordem (sendo igual a $0,693/T$, onde T é a meia-vida do contaminante). Ao integrar a Equação 3.2 obtém-se a Equação 3.3, onde verifica-se que C decai exponencialmente com o tempo:

$$C = C_0 \exp(-k_0t) \quad \text{eq. (3.3)}$$

O decaimento pode ser radiativo ou devido à biodegradação.

3.4 - Equação Transiente e Unidimensional de Transporte de Massa

O transporte transiente de espécies químicas através de um material saturado é baseado na conservação de massa de um volume elementar representativo ou volume de controle de solo (Freeze et al., 1979).

A Equação Geral do Transporte de Massa através de Meios Porosos Saturados, é expressa pela Equação 3.4, em que a velocidade e coeficiente de Dispersão são constantes e uniformes.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} - \sum G_i - \lambda C \quad \text{eq. (3.4)}$$

D= Coeficiente de Dispersão

V= Velocidade média de fluxo

$$\sum G = \text{reações de retardamento} = - \frac{p_b}{n} \frac{\partial s}{\partial t}$$

$\lambda C = kC =$ Decaimento radiativo

A solução analítica da Equação 4 é representada pela Equação 3.5, que foi obtida por Ogata (1971) citada em Nobre (1987), onde D' e V' são, respectivamente, a dispersão aparente e a velocidade aparente.

$$\frac{C(x', t)}{C_0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{x - V' t}{2 (D' t)^{1/2}} \right] \quad (3.5)$$

onde, pela Equação 3.6 tem-se que:

$$\operatorname{erfc} y = \text{função complementar de erro} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y e^{-x^2} dx \quad (3.6)$$

A Equação 3.7 e a Equação 3.8 fornecem, respectivamente, a velocidade retardada e o coeficiente de dispersão:

$$V' = \frac{v}{R} \quad (3.7)$$

$$D' = \frac{D}{R} \quad (3.8)$$

Em que v é a velocidade do fluxo obtida pela lei de Darcy descrita pela Equação 3.9 e n é a porosidade e K é a permeabilidade, obtida pelo ensaio de permeabilidade à carga constante ao vinhoto.

$$v = (k * i) / n \quad (3.9)$$

4 – Descrição dos Materiais

4.1 – Solo

O solo utilizado é da região do município de Campos dos Goytacazes, localizado na Região Norte do Estado do Rio de Janeiro, a aproximadamente 279 km da capital estadual, Rio de Janeiro (Figura 4.1). Abrange uma área de 4.037 km², sendo o maior município do Estado. Possui uma população de cerca de 406.989 (quatrocentos e seis mil novecentos e oitenta e nove) habitantes, segundo o censo do IBGE (2002). A rodovia federal BR-101 atravessa o município longitudinalmente e é responsável por boa parte do escoamento da produção agrícola, dos produtos cerâmicos, de petróleo, etc.

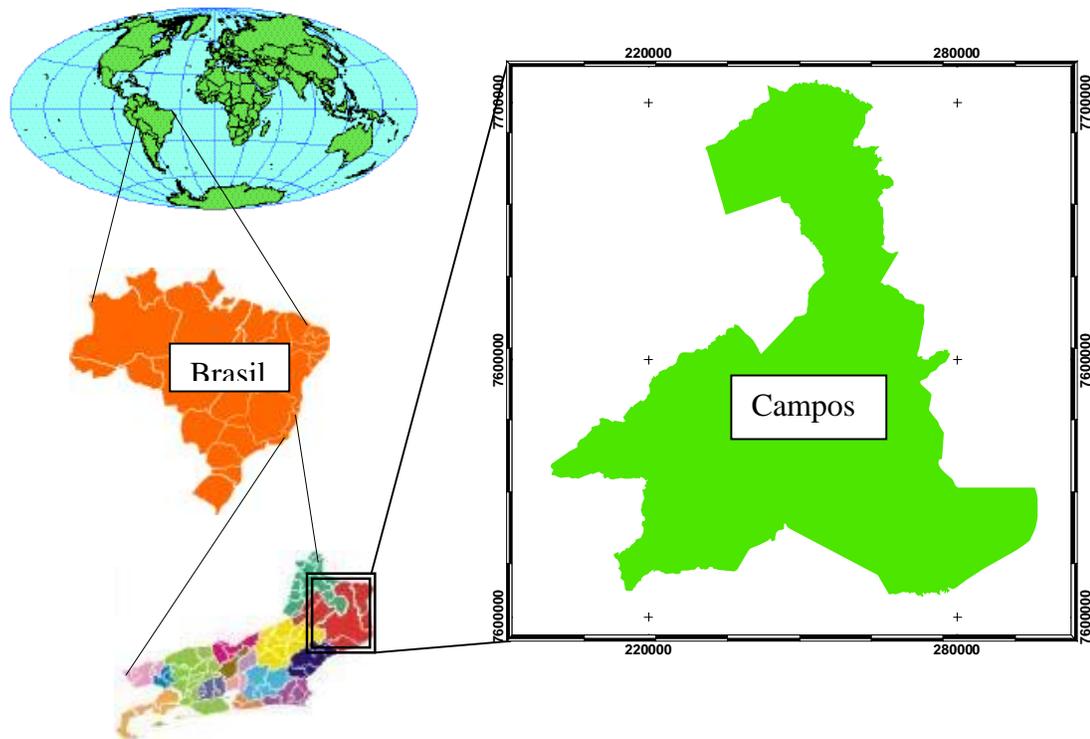


Figura 4.1 – Localização da área de estudo.

Fonte: IBGE 2002

A amostra de solo utilizada foi retirada na área de empréstimo de material de cobertura das pilhas de lixo município. A Figura 4.2 mostra o local de coleta das amostras. Esta área foi escolhida porque é próxima a canaviais e o solo mostrou boas

condições para se trabalhar. Levando-se em consideração a realização de ensaios de percolação em colunas, foi necessário escolher um solo que não fosse muito argiloso, o que acarretaria em grande espaço de tempo para a execução dos ensaios. Ao mesmo tempo, não se poderia escolher um solo muito arenoso porque mecanismos de transporte como a sorção e a difusão molecular não seriam bem representados.



Figura 4.2 – Área escolhida para coleta da amostra

4.2. – Visita a campo para reconhecimento da área e coleta de vinhoto

Realizou-se uma visita de campo a uma usina produtora de álcool da região com o intuito de se entender o processo de produção de álcool, bem como a geração e destinação do vinhoto. O vinhoto é descartado das destilarias a uma temperatura que varia em torno de 105°C e conduzido por canais, conforme as Figuras 4.3 ou armazenado em lagoas, como mostrado na Figura 4.4. Uma outra parte é utilizada na fertirrigação dos canaviais.



Figura 4.3 – Vinhoto conduzido em canais



Figura 4.4 – Vinhoto armazenado em lagoas

Verifica-se no vinhoto conduzido pelos canais ou já nas lagoas de armazenamento a formação de espuma, conforme a Figura 4.5, sugerindo intensa atividade microbiana. Essa constatação também foi observada em laboratório ao se manter ao ar livre algumas amostras.



Figura 4.5 – Formação de espuma no vinhoto

Foram coletados cerca de 80 litros de vinhoto à temperatura de 105°. As amostras foram armazenadas em recipientes plásticos.

Ao chegar ao laboratório, o vinhoto já se encontrava a temperatura ambiente e foi mantido em sala com ar condicionado a 25° C. Os recipientes plásticos foram mantidos abertos para poderem ter contato com o ambiente.

Cada amostra foi posta em um refrigerador em seu devido tempo, de acordo com a programação, para análises químicas posteriores.

5 - Programação dos Ensaio de Laboratório

5.1 - Considerações Gerais

Com a coleta do solo no Distrito Industrial de Campos e do vinhoto na USINA da COAGRO, procedeu-se o início das atividades experimentais que consistiram de ensaios de caracterização do solo, ensaios de caracterização do vinhoto e ensaios “*especiais*” executados para se avaliar a interação solo-vinhoto.

Com o solo foram executados ensaios corriqueiros de geotecnia, cujos objetivos são determinar a distribuição granulométrica, avaliar a plasticidade da fração fina, e determinar a densidade dos grãos. Foram também executados ensaios de compactação PROCTOR NORMAL, ensaios de permeabilidade a carga variável e constante com corpos de prova compactados. A composição química foi determinada através de ensaios de Fluorescência de Raio X (EDX) e de ensaios na FUNDENOR executados de acordo com o Manual de métodos de análises de solo publicado pela Embrapa em 1997, sendo os métodos utilizados nas análises relacionados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Métodos utilizados nas análises

<i>Métodos utilizados nas análises dos solos</i>	
ROTINA BÁSICA	MICRONUTRIENTES
Argila: densímetro	S: Fosfato de Ca 500 mg P/L
pH: pH Água	Zn: HCl 0,1 mol/L
NC: pH SMP	Cu: HCl 0,1 mol/L
P: Mehlich-I	B: Água quente
K: Mehlich-I	Mn: KCl 1 mol/L
MO: Combustão úmida	Fe: Oxalato de amônio 0,2 mol/L
Al trocável: KCl 1 mol/L	Nitrato (NO ₃ ⁻) e Amônio(NH ₄ ⁺)
Ca trocável: KCl 1 mol/L	Carbono
Mg trocável: KCl 1 mol/L	Nitrogênio total
Acidez total pH 7: pH SMP	P resina em KCl 2 M quente

Com o vinhoto, foram realizadas análises microbiológicas e químicas. A análise microbiológica foi realizada no Laboratório de Biotecnologia (LBT) do Centro de Biociências e Biotecnologia (CBB) da UENF, enquanto que a análise química foi executada na FUNDENOR, de acordo com Rodela (1977). Para uma análise preliminar do comportamento do vinhoto foram realizadas medidas do pH e da densidade do mesmo durante as primeiras semanas de estudo. Para analisar a possibilidade de decaimento biológico do vinhoto foi realizado um ensaio intitulado “Estudo da degradação biológica do vinhoto”, não preconizado em normas.

Finalmente, para avaliar a interação solo-vinhoto foram realizados ensaios em coluna e ensaios não especificados em normas como o ensaio de interação direta do solo e do vinhoto.

5.2 – Caracterização física do solo

Inicialmente, os ensaios de caracterização seguiram os procedimentos preconizados nas normas técnicas da ABNT apresentadas a seguir:

Preparação das amostras para ensaios de caracterização – NBR6457

Análise granulométrica (Peneiramento e sedimentação) - NBR7181/84

Determinação dos limites de consistência - NBR7180/84 & NBR6459/84

Densidade dos grãos – NBR6508

Classificação dos grãos – NBR6502

Para o ensaio de compactação utilizou-se o método Proctor Normal segundo a norma da ABNT NBR-6457/86, de onde se obteve a curva de compactação para a determinação da umidade ótima do solo e a densidade aparente seca máxima. O material desse ensaio foi mantido em uma câmara úmida para posteriormente ser utilizado em ensaios de permeabilidade à carga variável

5.3 - Ensaio de Permeabilidade

5.3.1 - Ensaio de permeabilidade à carga variável

Foram realizados ensaios de permeabilidade à água à carga variável utilizando uma amostra de solo compactada no cilindro de compactação Proctor Normal para efeito de se obter um valor a ser utilizado no dimensionamento dos corpos de prova e no ensaio em coluna. Foi utilizado um permeâmetro de carga variável conforme o da Figura 5.1.

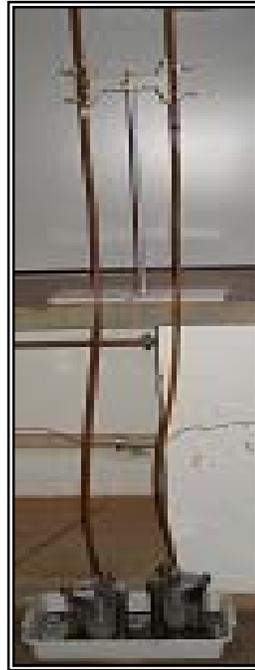


Figura 5.1 – Permeâmetro de carga variável

Em seguida, procedeu-se a execução do ensaio de permeabilidade utilizando-se o vinhoto como efluente durante cerca de dois meses, período no qual houve um acompanhamento contínuo os valores do pH e da temperatura.

5.3.2 - Confecção dos corpos de prova

Os corpos de prova foram obtidos por meio do ensaio de compactação Proctor Normal segundo as normas da ABNT NBR-6457/86. O material resultante localizado no cilindro de compactação foi extraído e talhado manualmente até se obter um corpo cilíndrico de aproximadamente 5cm de diâmetro por 5cm de altura como foi estabelecido pelo dimensionamento das colunas. O processo foi repetido até se obter inicialmente três corpos de prova.

Para cada corpo procurou-se impor uma umidade próxima da ótima e foram calculados seus respectivos índices físicos. A Tabela 5.2 relaciona os valores obtidos.

Tabela 5.2 – Índices físicos dos corpos de prova

	CP 1	CP 2	CP 3
Dâm	4,92	4,92	4,85
H	4,99	5,03	5,02
Área	19,01	19,01	18,47
Vol. (cm ³)	94,81	95,62	92,74
Mt	174,17	182,4	185,7
Umidade (%)	14,02	15,57	15,00
G	2,78	2,78	2,78
Peso Esp. Total (kN/m ³)	18,0	18,7	19,6
Peso Esp. Aparente (kN/m ³)	15,8	16,2	17,1
e	0,73	0,68	0,60
n	42,0	40,6	37,3
Vv	39,8	38,8	34,5

5.3.3 - Ensaio de permeabilidade à carga constante

O primeiro passo foi a confecção de corpos de prova compactados no cilindro Proctor Normal. Em seguida, foi montado um sistema de percolação em corpos de prova instalados em colunas cilíndricas que, pela imposição de gradientes hidráulicos, serviram como permeômetros de carga constante.

Os corpos de prova foram denominados de CP01, CP02 e CP03 e os gradientes hidráulicos escolhidos para cada um foram, respectivamente, de 20, 15 e 10.

Os ensaios foram inicialmente realizados com água e em seguida com vinhoto.

5.4 – Caracterização química do solo

Foram utilizadas para as análises químicas do solo as amostras obtidas com o ensaio de interação direta do solo e do vinhoto e também uma amostra de solo sem contaminação. As análises se basearam na medição do pH e dos níveis de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, sódio, carbono, matéria orgânica, CTC (capacidade de troca catiônica), ferro, cobre e zinco e também em ensaios EDX.

5.4.1 – Ensaio de Interação Direta do Solo e do Vinhoto

Ensaio não prescrito em normas, que teve por princípio observar a interação da combinação de vinhoto e solo por diferentes intervalos de tempo. Teve como fundamento a mistura em cinco recipientes, volumes iguais de vinhoto e de solo (750ml). Cada recipiente foi deixado ao ar livre para interação entre o solo e o vinhoto, sendo que o material do primeiro recipiente foi retirado e preparado para análise uma semana após a mistura, o segundo duas semanas, o terceiro um mês, o quarto dois meses e o último após quatro meses de interação. Essas amostras foram enviadas para análise química na FUNDENOR e também para ensaio de EDX.

5.4.2 – Ensaios EDX

As amostras utilizadas na caracterização química do solo também foram submetidas a ensaios realizados com a utilização de um espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva, que é utilizado para determinar a presença e a quantidade de praticamente todos elementos da tabela periódica, de sódio a urânio, passando pelo carbono, que poucos equipamentos detectam.

O espectrômetro de fluorescência de raios-X é um instrumento que determina quantitativamente os elementos presentes em uma determinada amostra através da aplicação de raios-X na superfície da amostra e a posterior análise dos fluorescentes raios-X emitidos. A técnica de fluorescência de raios-X é não-destrutiva para todos os tipos de amostras, incluindo sólidos, líquidos, pós, discos, etc.. A Figura 5.2 ilustra o equipamento utilizado.



Figura 5.2 - Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva

5.5 - Caracterização do vinhoto

5.5.1 - Variação da densidade e pH do Vinhoto

Para se verificar a variação do pH e densidade do vinhoto colocaram-se 1000ml de vinhoto em uma proveta onde foram realizadas medições de pH e leituras de densímetro por um período de quase dois meses. Durante esse período registraram-se as variações de temperatura.

5.5.2 – Análise química do vinhoto

Foram realizadas análises com duas amostras; uma filtrada (1B) e outra não (1A). Em ambas foram medidos o pH e os níveis de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, carbono, sódio, ferro, cobre, zinco e manganês.

Foram realizadas também análises na FUNDENOR, segundo Rodela (1977), considerando apenas nitrogênio e potássio, para as amostras do estudo da degradação biológica do vinhoto e para todas amostras obtidas nos ensaios de percolação em colunas nos corpos de prova 1, 2 e 3.

5.5.3 - Estudo da degradação biológica do vinhoto

Uma tentativa de se tentar quantificar o processo de degradação biológica do vinhoto, com relação ao nitrogênio e ao potássio, se deu a partir do momento da coleta na usina. Várias amostras foram armazenadas em recipientes plásticos e, cada uma a seu tempo foi posta em um refrigerador para análises químicas posteriores. Ao chegar ao laboratório, os recipientes plásticos foram mantidos abertos para poderem ter contato com a atmosfera.

O primeiro caso é o da amostra de um dia após a coleta. Em seguida, a amostra de dois dias após a coleta e, sucessivamente, para quatro dias, oito dias, quinze dias, um mês, dois meses e cinco meses.

5.5.4 - Análise Microbiológica do Vinhoto

Tendo em vista o aparecimento de uma espuma amarelada na proveta, sugerindo que um processo de degradação biológica estava em andamento, foram encaminhadas ao Laboratório de Bociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense para análise microbiológica, duas amostras de vinhoto para eventuais comparações, sendo uma mantida congelada desde o momento da coleta e a outra à temperatura ambiente.

Foi utilizada a técnica de isolamento de bactérias, que é fundamentalmente usada para se obter cultura pura de amostras, que possivelmente contenham populações mistas. Este procedimento levou à formação de colônias isoladas através da semeadura em estrias na superfície dos meios sólidos Ágar com caldo nutritivo e BHI, (Brain Heart Infusion) que é um extrato nutritivo para reprodução e desenvolvimento dos microorganismos. O método se presta, também, a estudo de caracteres culturais.

As placas de Petri inoculadas utilizando uma alça de platina, fazendo uso da técnica de estrias em quadrantes, foram incubadas invertidas na estufa, para evitar que durante a incubação, a água de condensação na superfície dos meios, provocasse crescimento confluyente, o que impediria a formação de colônias isoladas. A temperatura

de incubação foi mantida a 30°C, em um período de 24 a 72 horas, até que colônias isoladas fossem visualizadas.

De acordo com a programação dos ensaios, na seqüência são realizados ensaios de percolação em coluna. O capítulo 6 engloba os fundamentos gerais desses ensaios e também etapas como o dimensionamento dos corpos de prova utilizados e a montagem do sistema.

6 - Ensaio em colunas

6.1 – Fundamentos e montagem do sistema

Um importante método utilizado para analisar a interação entre o solo e o vinhoto é o ensaio em coluna, onde o fluxo de efluentes, que no caso é o vinhoto, se dá na direção vertical, o que oferece a grande vantagem de se poder trabalhar com apenas uma dimensão, facilitando a interpretação matemática do problema.

Neste ensaio é percolada a solução do vinhoto através de um corpo de prova que se encontra no interior de uma câmara cilíndrica. Esse corpo de prova é envolvido por uma membrana de látex para isolá-lo e protegê-lo de qualquer contato com a água que fica ao seu redor preenchendo o restante da coluna e aplicando uma tensão de confinamento.

Inicialmente os ensaios são realizados com água destilada, com o intuito de se verificar vazamentos, aumentar o grau de saturação dos corpos de prova e se realizar ensaios de permeabilidade à carga constante. Em seguida, a água é substituída por vinhoto.

São três colunas montadas simultaneamente e em cada coluna existem três conexões de entrada ou saída. Há uma conexão entre a coluna e um recipiente contendo água, localizado a uma certa altura tendo por objetivo impor uma tensão confinante à amostra do solo para impedir que haja passagem de água entre a membrana e o corpo de prova.

A segunda conexão da coluna é destinada à ligação com um frasco de mariotte, onde o vinhoto é armazenado. Cada frasco se encontra a uma certa altura em relação à base da coluna onde é montado o corpo de prova, de modo a determinar um gradiente específico para cada coluna. Assim, cada coluna se encontra conectada a um vaso de mariotte, com uma altura diferente para cada caso.

O frasco, além de ser utilizado para armazenar o vinhoto, serve principalmente para a manutenção de uma carga constante. O mariotte consiste de um tubo imerso dentro do líquido contido em um recipiente que possui uma saída na base, que pela qual uma mangueira faz a ligação entre o frasco e a coluna.

A terceira conexão da coluna é reservada para a saída do vinhoto após a passagem do mesmo pelo corpo de prova. É usado um tubo, que por onde o vinhoto é conduzido até uma bureta, onde é coletado para ser submetido às análises. É realizada periodicamente a coleta para que se possa determinar a sua concentração. A Figura 6.1, mostra a montagem do sistema, onde A representa a coluna, B representa o mariotte e C representa o sistema de pressão.

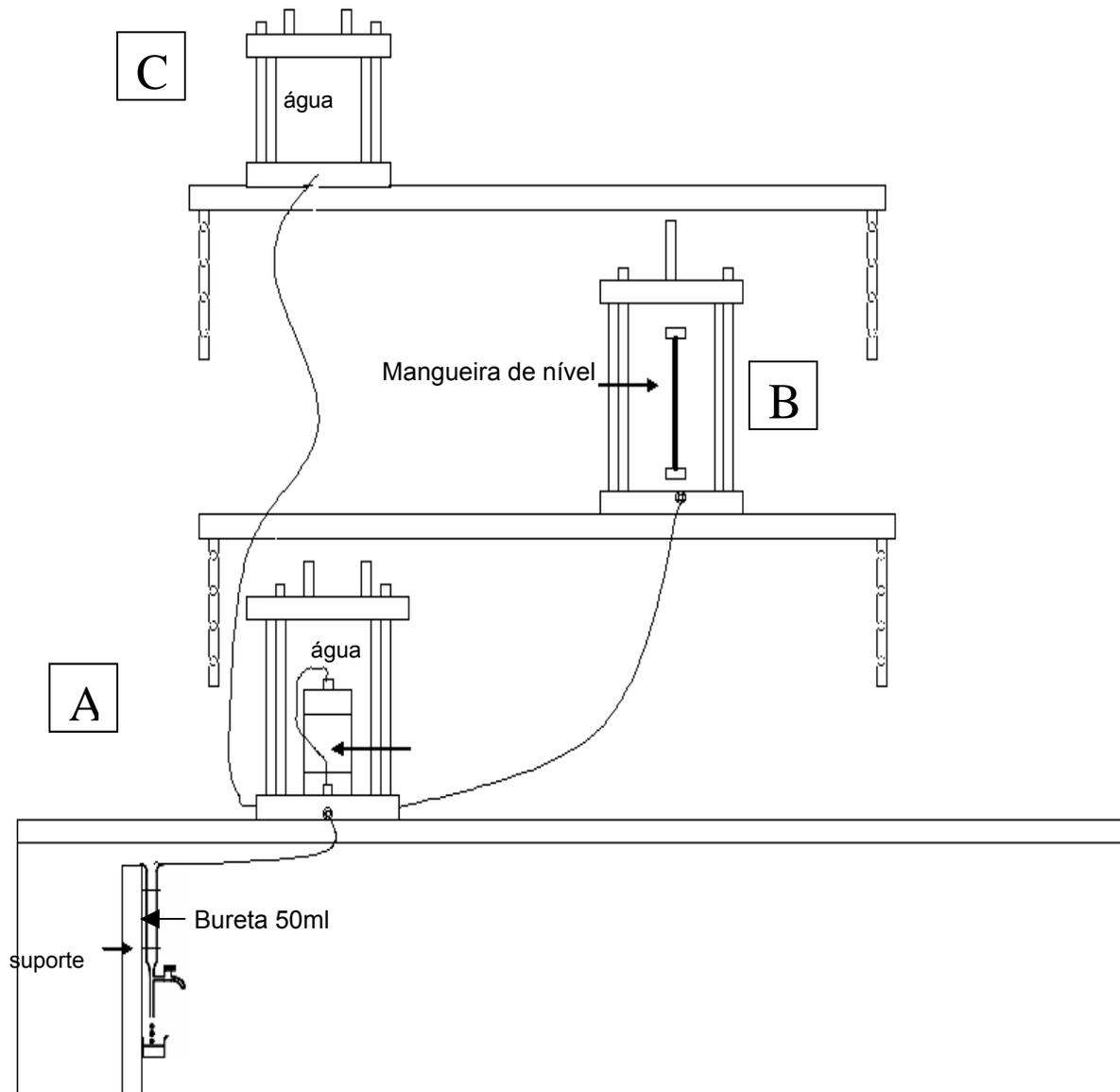


Figura 6.1 - Sistema de percolação em colunas

Antes da realização dos ensaios com vinhoto, os corpos de prova foram saturados com água destilada e em seqüência realizados ensaios de permeabilidade à carga constante à água. Em seguida, deu-se início aos ensaios de percolação com vinhoto, que foi previamente filtrado para eliminação de impurezas.

Simultaneamente foram realizadas medidas de permeabilidade à carga constante. Deve-se ressaltar que o vinhoto utilizado no ensaio foi filtrado com filtro quantitativo faixa azul, para se eliminar impurezas e uma amostra de 10ml desse vinhoto foi mantida congelada.

Para cada coluna coletou-se um total de 25 amostras de 10ml cada, o que representa uma percolação total de aproximadamente seis vezes o volume de vazios de cada corpo de prova. O tempo de percolação para os corpos de prova CP01 e CP02 foi de aproximadamente 45 dias e para o CP03, 75 dias. As amostras foram armazenadas em tubos Falcon e em seguida foram mantidas em um refrigerador para análises.

Após a percolação de todas as amostras de todos os corpos de prova, todo o material coletado foi submetido a análises químicas, com o intuito de se medir as concentrações de nitrogênio na forma total e de potássio.

6.2 – Curvas de chegada

Com a concentração medida ao longo do tempo e traçando-se os resultados em um gráfico em termos de concentração relativa (C/C_0), em função da razão entre o volume percolado (V_p) e o volume de vazios da amostra (V_v), que fornece o número de volumes de poros, obtém-se uma curva normalizada. Esta é denominada curva característica do transporte ou curva de chegada, também conhecidas em inglês como *breakthrough curves*. É plotada uma curva característica de transporte para cada elemento de vinhoto analisado.

O programa computacional DISP, desenvolvido pelo departamento de engenharia agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), fornece essas curvas características, sendo os dados de concentração relativa e o número de volume de poros como dados de entrada. A Figura 6.2 mostra a página inicial do programa, onde

se pode ver no canto esquerdo o local em que se introduz dos dados de concentração relativa e número de volume de poros. São utilizados também como dados de entrada o teor de água, a densidade do solo, fluxo e altura do corpo de prova.

Figura 6.2 – Página inicial do programa computacional DISP

Obtém-se o fator de retardamento, R , diretamente através das curvas características do transporte. Para tal faz-se uso de um processo usual de se considerar o fator de retardamento com valor aproximado ao do número de volume de vazios percolado quando a concentração relativa é de 0,5, como mostra a Equação 6.1.

$$R = V(C = 0,5C_0)/V_v \quad \text{eq. (6.1)}$$

6.3 – Coeficiente de dispersão ‘D’

Nobre (1987) sugere uma metodologia para a obtenção do coeficiente de dispersão D onde o primeiro passo é a obtenção do fator de retardamento R como descrito anteriormente, em seguida, fazendo-se uso da Lei de Darcy, descrita pela Equação 3.9, obtém-se o valor da velocidade de percolação do fluido. A partir disso pode-se obter o valor da velocidade aparente V' , descrita pela Equação 3.7.

Partindo-se da solução analítica da equação transiente unidimensional de transporte de massa, expressa pela Equação 3.5, pode-se encontrar o valor do coeficiente de dispersão aparente D' e com uso da Equação 8 obtém-se o valor de D. Esta equação pode ser resolvida pelo DISP.

Para se obter o coeficiente de dispersividade, α , e a difusão molecular, D_d , é necessário executar ensaios com diferentes valores de gradiente hidráulicos, sendo necessária a utilização de pelo menos três experimentos e, por regressão linear, de acordo com a equação 1, determinar os coeficientes.

6.4 - Dimensionamento das colunas

É uma etapa que antecede a construção das colunas. Deve-se ter em mente o fator tempo de modo a se dimensionar as colunas onde o tempo de percolação não seja muito extenso, mas que seja o suficiente para que os processos químicos ocorram.

O primeiro passo é dimensionar o corpo de prova a ser utilizado nas colunas. Para tal, utilizou-se o conceito de número de volume de poros que é definido como o volume de fluido que atravessa a amostra em um intervalo de tempo dividido pelo seu volume de poros. Da lei de Darcy (6.2), tem-se:

$$Q = K i A, \text{ onde } Q = V / t, \text{ daí } V / t = K i A \quad \text{eq. (6.2)}$$

Sendo:

K = permeabilidade (cm/s)

I = gradiente (m/m)

A = área (cm²)

V = volume percolado (cm³)

T = tempo (s)

Após várias tentativas com valores diferentes, por fim verificou-se que com corpos de prova de 5cm de diâmetro por 5cm de altura a gradientes 10, 15 e 20, seria possível a execução dos ensaios dentro de um prazo adequado. Com a utilização de gradientes menores como 1 e 5, por exemplo, o tempo de percolação seria longo o suficiente para que ocorresse a formação de camadas espessas de matéria orgânica devido à degradação biológica do vinhoto, o que dificultaria a percolação e inviabiliza a realização dos ensaios.

A permeabilidade utilizada para as estimativas foi extraída por meio de ensaio de permeabilidade à carga variável.

O valor do volume utilizado acima para dimensionar o tempo é o volume de vazios da amostra que é o produto do volume da amostra pela porosidade, estimada em 40%. Estipulou-se um valor de seis volumes de vazios a serem percolados pelo corpo de prova.

7 - Resultados e discussões

7.1 Caracterização física do solo

Os ensaios de sedimentação com hexametáfosfato de sódio, vinhoto, água foram acompanhados até que houvesse estabilização. Na Figura 7.1 é apresentada uma foto ao final do ensaio, em que foram postas lado a lado as provetas contendo a sedimentação com vinhoto, água destilada e hexametáfosfato de sódio, representadas pelas letras a, b e c, respectivamente. Pode-se observar maior aglutinação do material nos casos de sedimentação com água destilada e, especialmente, no caso de sedimentação com vinhoto. Como era de se esperar, é observado efeito dispersante na sedimentação com hexametáfosfato de sódio.

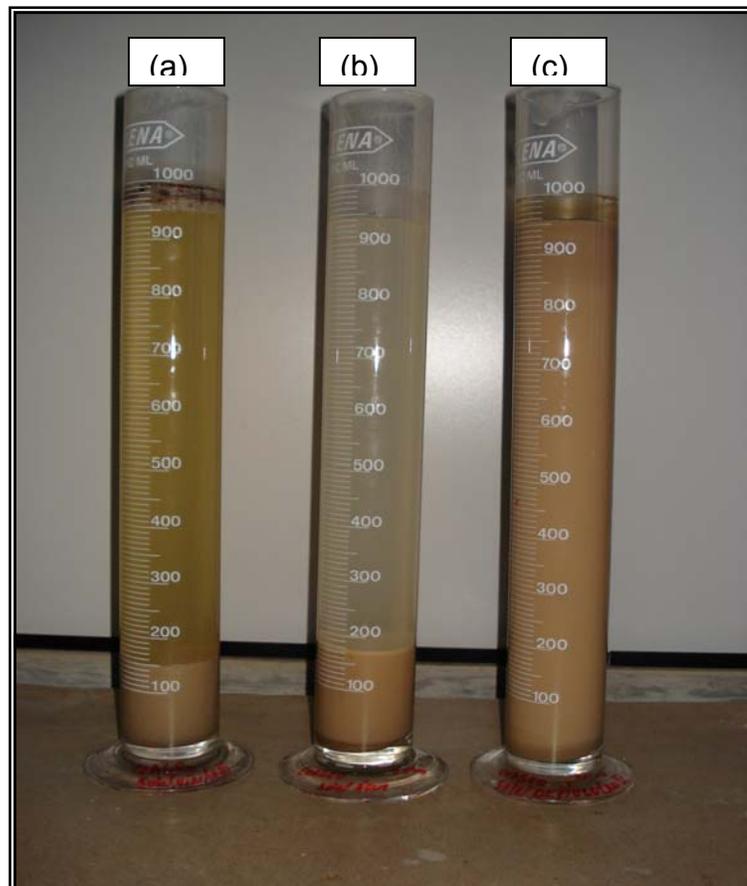


Figura 7.1 (a) sedimentação com vinhoto; (b) sedimentação com água destilada; (c) sedimentação com hexametáfosfato de sódio

A distribuição granulométrica, obtida pelo ensaio de sedimentação e por

peneiramento grosso e fino, pode ser observada na Figura 7.2.

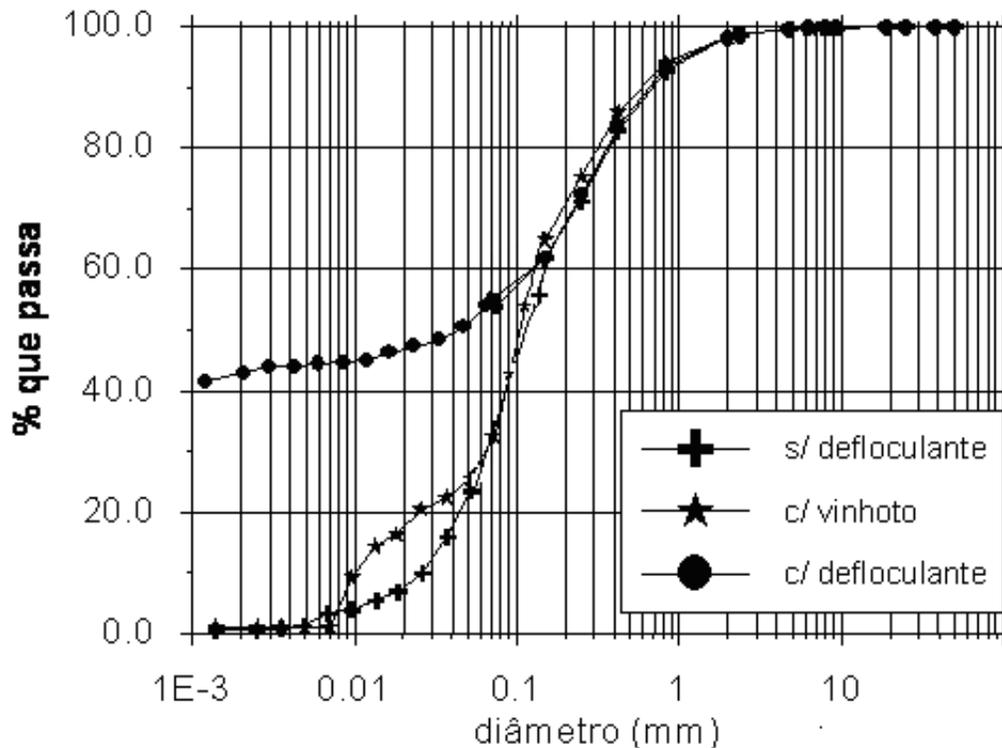


Figura 7.2 - Distribuição granulométrica do solo com diferentes procedimentos

Observa-se pelas Figuras 7.1 e 7.2 o efeito aglutinador do vinhoto se comparado com a água destilada e o defloculante hexametáfosfato de sódio.

Os limites de consistência também foram obtidos seguindo os procedimentos prescritos nas normas brasileiras, porém, para efeito de comparação, utilizou-se uma segunda situação onde o vinhoto foi adicionado ao solo. Os resultados são apresentados na Tabela 7.1.

Observa-se que não existem diferenças significativas nos limites de consistência obtidos com os diferentes procedimentos, podendo-se considerar os mesmos como iguais. Deve-se destacar que os ensaios foram executados sem ter havido tempo de cura.

Tabela 7.1 – Resultados dos ensaios de caracterização

Amostra	G_s	Granulometria						Limites de Consistência			
		Argila %	Silte %	Fina %	Média %	Grossa %	Pedr. %	LL	LP	IP	A
Com defloculante		42,7	10,3	14,0	21,0	10,2	1,9				
Sem defloculante	2,78	0,6	33,4	32,6	20,5	11,1	1,9	35	20	15	0,36
Com vinhoto		1,0	27,5	41,5	19,3	8,8	1,9	33	19	14	13,77

Pode-se atribuir a grande diferença do índice de atividade (Parâmetro A de Skempton, onde $A = IP/\% < 2\mu m$) ao efeito da presença do vinhoto no ensaio de sedimentação.

Observa-se que a amostra de solo é bastante argilosa, podendo ser classificada como uma argila arenosa. No Sistema de Classificação Unificado a amostra de solo foi classificada como uma argila de baixa plasticidade.

A curva de compactação obtida, apresentada na Figura 7.3, sugere a umidade ótima em torno de 16,6% e o peso específico aparente de 17,5 kN/m³.

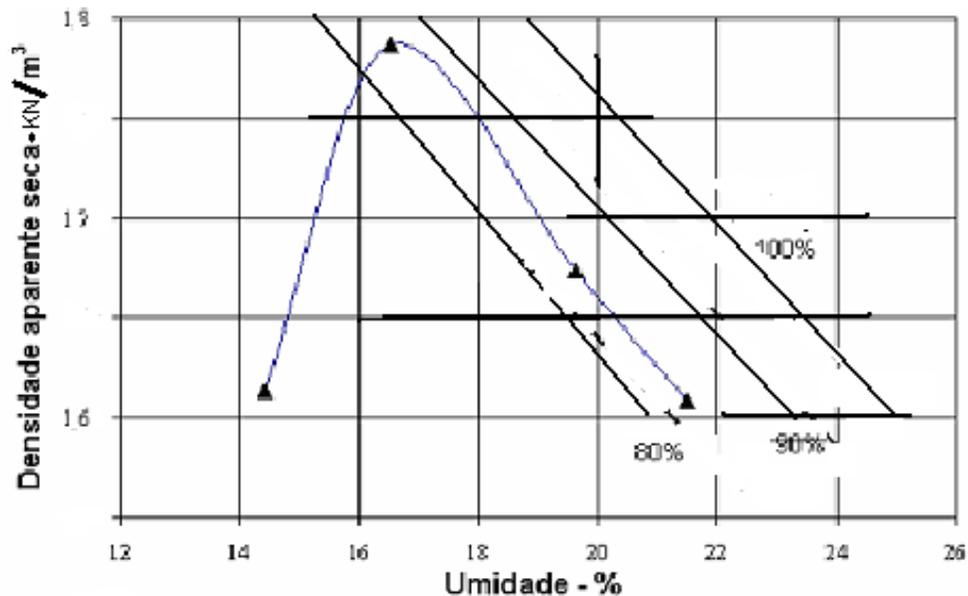


Figura 7.3 – Curva de compactação

7.2 - Ensaio de permeabilidade

7.2.1 - Ensaio de permeabilidade à carga variável

Inicialmente os ensaios foram executados com água e duraram cerca de uma semana, onde se obteve a permeabilidade média de $1,85 \times 10^{-7}$ cm/s. O grau de compactação atingiu 94%.

Em seguida, foram executados ensaios de permeabilidade à carga variável ao vinhoto, sendo os resultados apresentados na Figura 7.4. Pode-se observar uma tendência de queda do valor da permeabilidade ao longo do período de percolação.

As variações nas medidas de pH e da temperatura foram da ordem de 4,08 até 4,22 para o pH, e, de 23 ° até 27° centígrados para a temperatura.

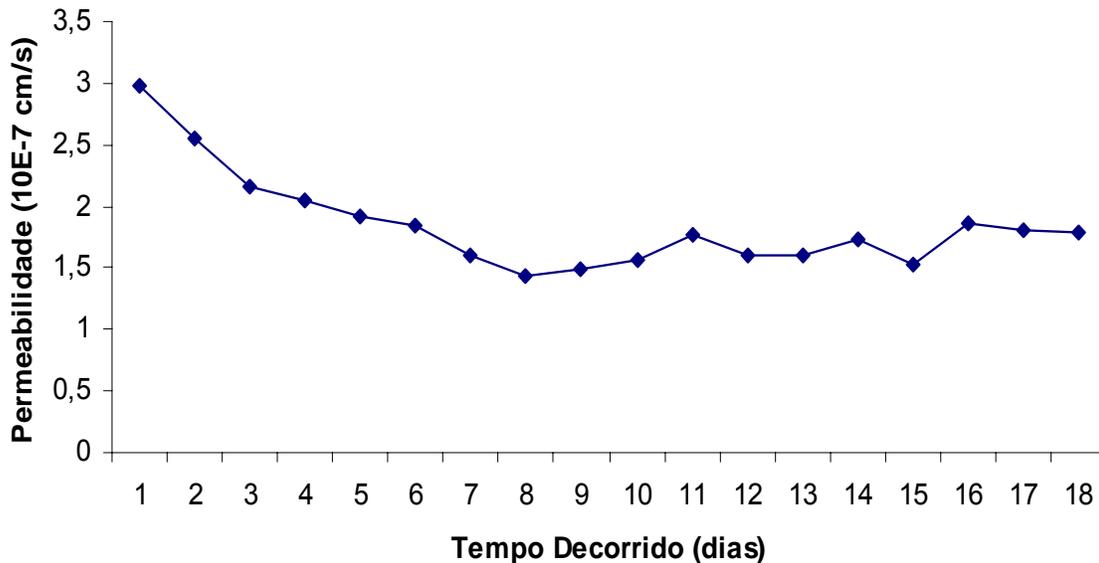


Figura 7.4 – Resultado dos ensaios de permeabilidade ao vinhoto à carga variável

7.2.2 - Ensaio de permeabilidade à carga constante

Para a realização dos ensaios o primeiro procedimento foi o de confeccionar os corpos de prova. Os ensaios foram realizados inicialmente com água e em seguida com vinhoto. Foi utilizado o gradiente de 20 para o corpo de prova 1, o de 15 para o corpo de prova 2 e gradiente 10 para o corpo de prova 3.

7.2.2.1 - Ensaios de permeabilidade à carga constante com água

Após a confecção dos corpos de prova e montagem do sistema, de acordo com a Figura 6.1, os vasos de Mariotte, preenchidos com água, foram conectados às células cilíndricas portadoras dos corpos de prova dando início à percolação. Doze horas após, os valores da relação volume percolado com tempo começaram a ser medidos.

Para o caso de percolação no CP01, a Figura 7.5 (a) mostra a relação de volume percolado com tempo para a gradiente 20, de onde se obtém a permeabilidade de $9,4 \times 10^{-6}$ cm/s. A Figura 7.5 (b) mostra a relação de volume percolado por tempo, a gradiente 15, de onde se obtém a permeabilidade de $1,62 \times 10^{-6}$ cm/s. . A Figura 7.5 (c) mostra a relação de volume percolado por tempo, a gradiente 10, de onde se obtém a permeabilidade de $1,11 \times 10^{-7}$ cm/s.

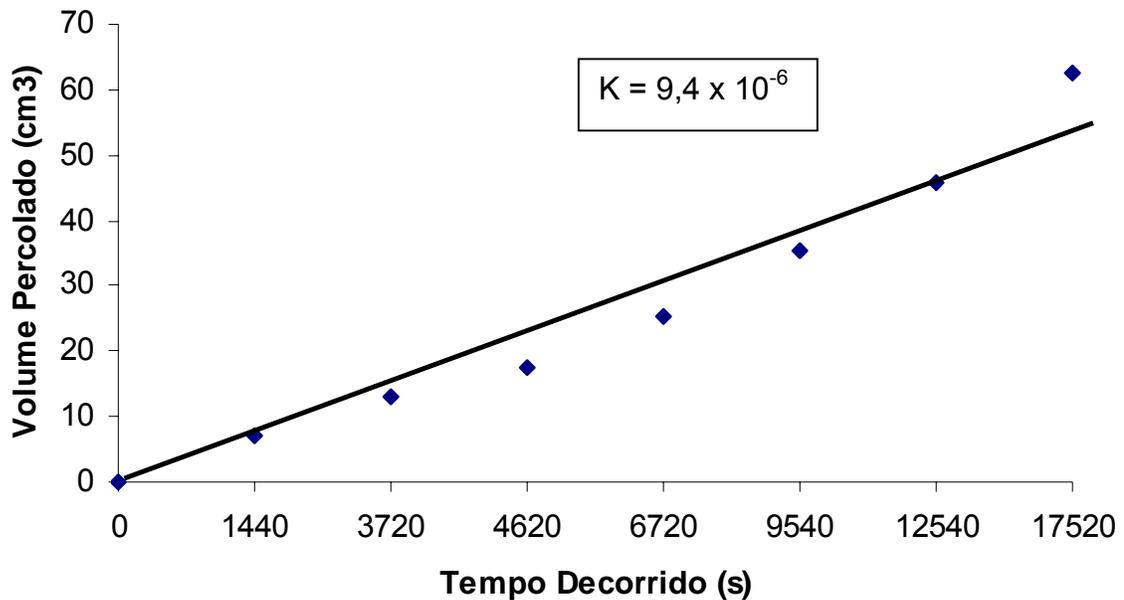


Figura 7.5 (a) – Volume de água percolado por tempo para gradiente 20

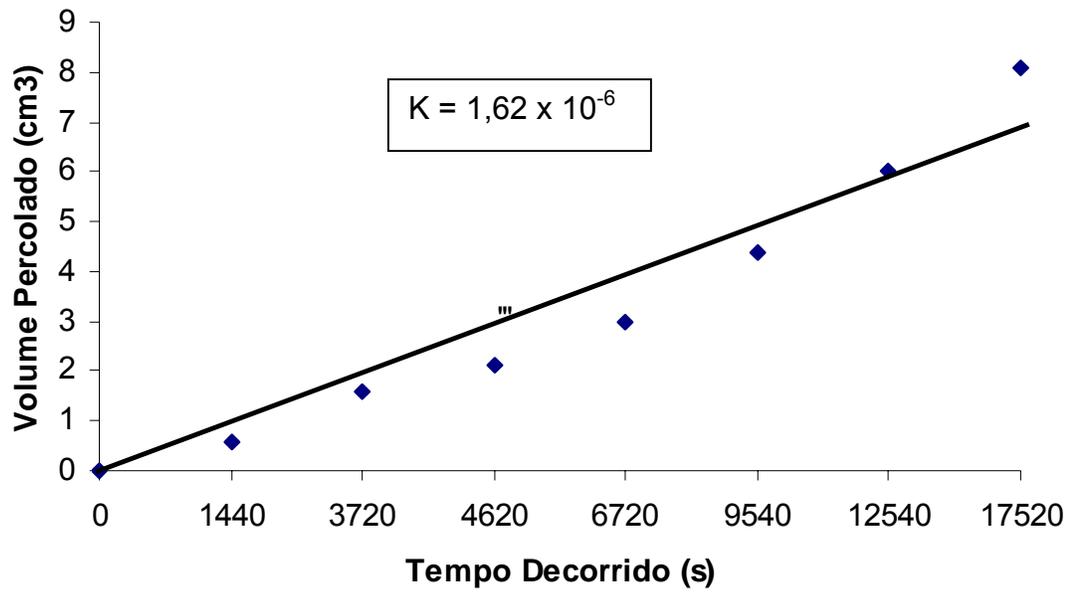


Figura 7.5 (b) – Volume de água percolado por tempo para gradiente 15

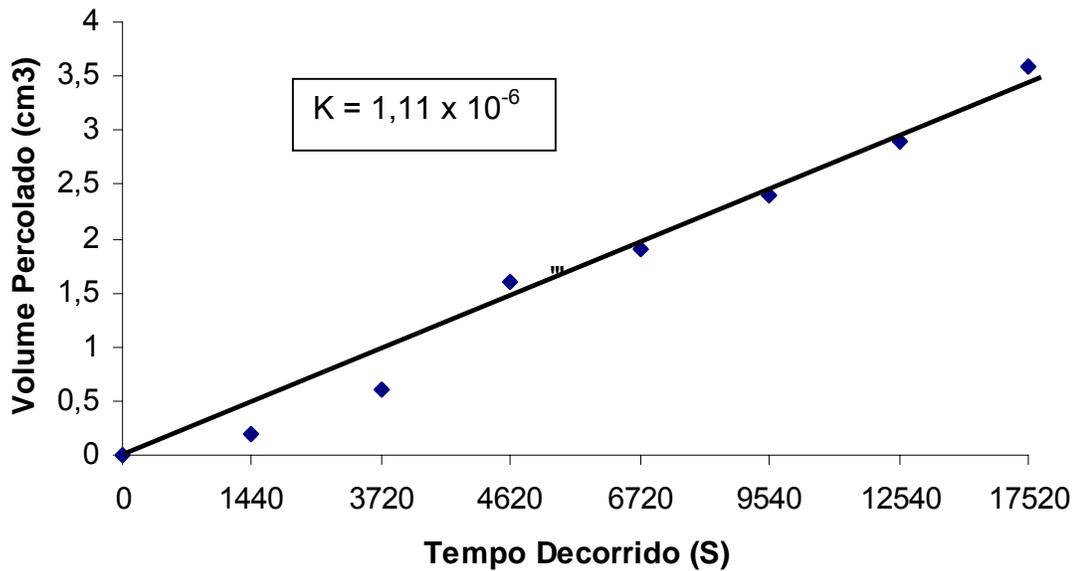


Figura 7.5 (c) – Volume de água percolado por tempo para gradiente 10

7.2.2.2 - Ensaios de permeabilidade à carga constante ao vinhoto

Ao término do ensaio de permeabilidade à carga constante à água, os vasos de Mariotte foram desconectados das células cilíndricas para que a água fosse substituída por vinhoto e, em seguida, foram conectados novamente dando início à percolação.

A Figura 7.6 (a) mostra a relação de volume percolado por tempo, a gradiente 20, de onde se obtém a permeabilidade de $2,9 \times 10^{-6}$ cm/s. A Figura 7.6 (b) mostra a relação de volume percolado por tempo, a gradiente 15, de onde se obtém a permeabilidade de $3,7 \times 10^{-6}$ cm/s. A Figura 7.6 (c) mostra a relação de volume percolado por tempo, a gradiente 10, de onde se obtém a permeabilidade de $7,52 \times 10^{-7}$ cm/s.

Os ensaios foram realizados em ambiente refrigerado a 24°C.

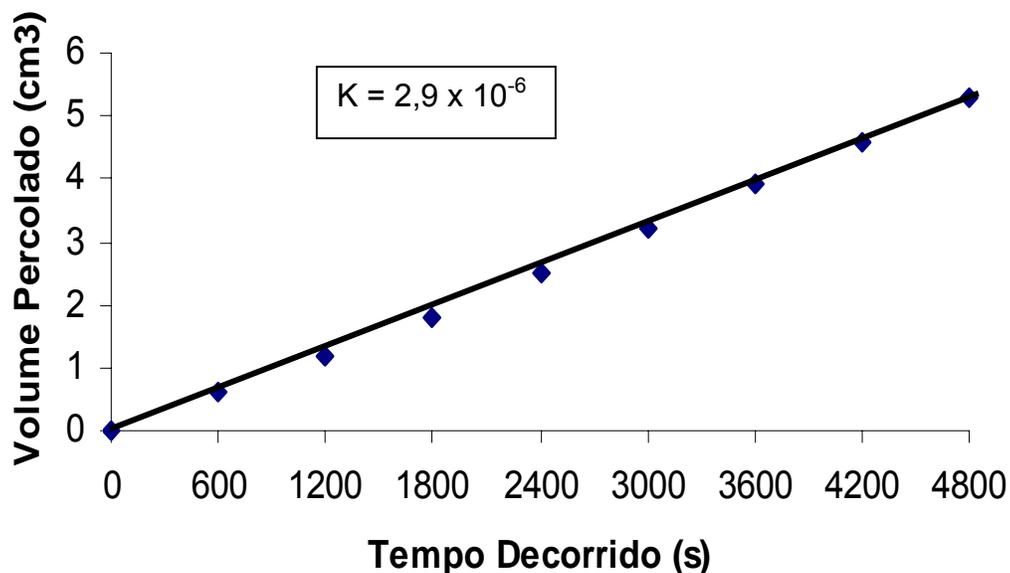


Figura 7.6 (a) – Volume de vinhoto percolado por tempo para gradiente 20

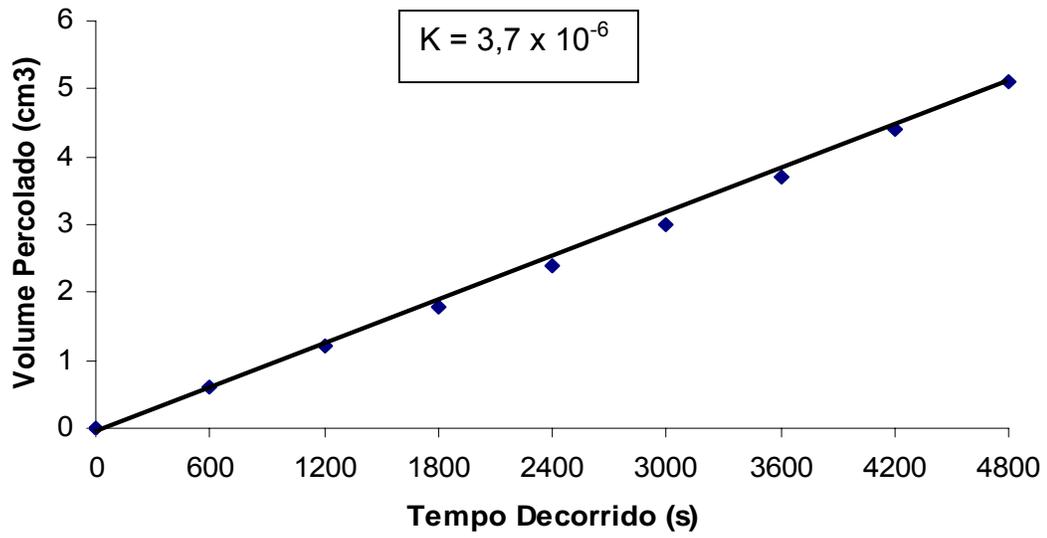


Figura 7.6 (b) – Volume de vinhoto percolado por tempo para gradiente 15

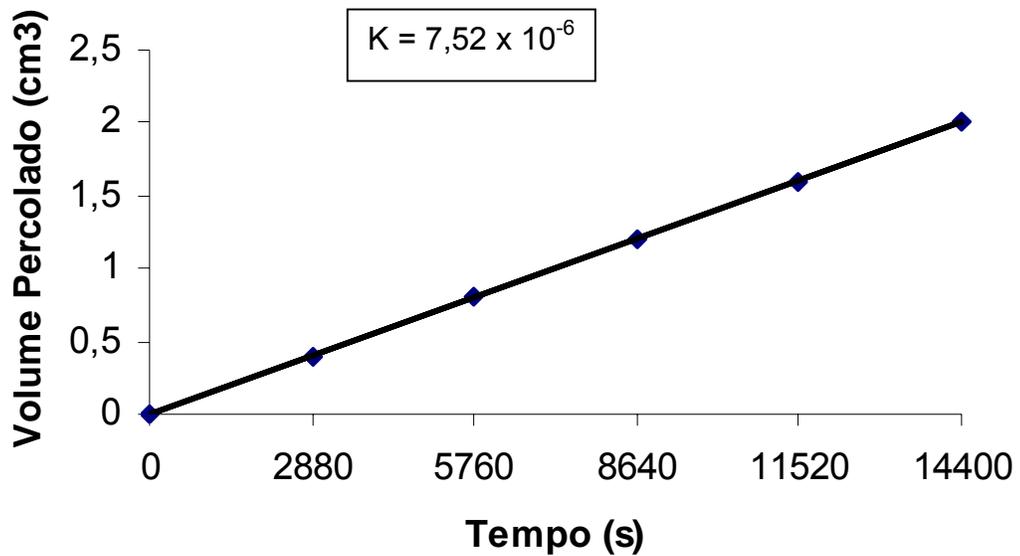


Figura 7.6 (c) – Volume de vinhoto percolado por tempo para gradiente 10

Esses resultados foram obtidos durante uma semana de observações. Um mês após, a coluna a gradiente 10, que ainda estava sendo observada, apresentou resultados na casa de 10^{-8} cm/s o que representa uma considerável redução.

Na Tabela 7.2 pode é apresentado um resumo dos resultados dos ensaios de permeabilidade à carga constante tanto à água como ao vinhoto.

Tabela 7.2. Resultados dos ensaios de permeabilidade (1semana).

Efluente	Corpo de Prova		
	CP01	CP02	CP03
	$l = 20$	$l = 15$	$l = 10$
Permeabilidade à água (cm/s)	$9,4 \times 10^{-6}$	$1,62 \times 10^{-6}$	$1,11 \times 10^{-7}$
Permeabilidade com vinhoto (cm/s)	$2,9 \times 10^{-6}$	$3,7 \times 10^{-6}$	$7,52 \times 10^{-7}$

7.3 – Caracterização química do solo

Foram analisadas as concentrações de potássio, cálcio, magnésio, alumínio, sódio, ferro, cobre, zinco, manganês e boro existentes em uma amostra do solo em estudo. Avaliou-se também a capacidade de troca catiônica 'CTC' e os percentuais de carbono e matéria orgânica. As amostras foram analisadas pela FUNDENOR e também submetidas a ensaios EDX.

7.3.1 – Ensaio Interação Direta do Solo com Vinhoto

Os materiais utilizados para a realização desse ensaio foram 5 porções de uma mistura de solo e vinhoto na proporção de 1:1. Estas amostras foram conservadas em ambiente refrigerado a 24°C com o objetivo de se verificar a interação entre o solo e o vinhoto, sendo cada uma das amostras conservadas por um período de tempo

diferente.

A primeira amostra permaneceu em laboratório por uma semana, a segunda por duas semanas, a terceira por um mês, a quarta por dois meses e a quinta por um período de quatro meses.

7.3.1.1 – pH e Alumínio

Segundo Rosseto (1987) a aplicação de vinhaça promove a elevação do pH do solo, do poder de retenção de cátions, da disponibilidade de nutrientes, da capacidade de retenção de água e da atividade microbiana.

Pode-se contatar, por meio das análises, um caráter ácido da amostra de solo, sendo que na primeira semana de interação com o vinhoto, cujo pH situa entre 4.0 e 4.5, ocorreu uma elevação da acidez do solo. Nas semanas seguintes e até o final dos quatro meses de observação pode-se perceber um processo de recuperação do pH do solo.

A presença de Alumínio no solo é condicionada pela acidez do solo. Na semana inicial, quando foi verificado o processo de acidificação do solo, ocorreu uma acentuada elevação na concentração do Alumínio, passando a ocorrer em seguida um processo de redução da concentração. Quando o pH do solo se encontra entre 5,6 e 5,8 há o desaparecimento desse elemento

A Tabela 7.3 mostra os resultados obtidos pela análise do pH, do Alumínio e de hidrogênio mais alumínio da amostra de solo em seu estado natural citada no item anterior e também os resultados das amostras do ensaio de interação direta do vinhoto com o solo.

Tabela 7.3 – Relação entre o Al e pH do solo após 4 meses de interação solo/vinhoto.

	Solo puro	1 semana	2 semanas	1 mês	2 meses	4 meses
pH	5,9	5,1	5,4	5,6	5,5	5,8
Al mmol _c /dm ³	0,0	7,1	4,0	0,0	3,0	0,0
H + Al mmol _c /dm ³	10,6	28,6	20,9	16,8	19,1	14,8

7.3.1.2 – Carbono e Matéria Orgânica (MO)

As análises apresentadas na Tabela 7.4 mostraram uma grande elevação, com o tempo, dos teores de carbono e matéria orgânica. O que já era de se esperar devida à intensa atividade microbiana do vinhoto verificada na análise microbiológica apresentada mais adiante.

Tabela 7.4 – Relação entre C e MO após 4 meses de interação solo/vinhoto

	Solo puro	1 semana	2 semanas	1 mês	2 meses	4 meses
C %	2,5	8,4	6,7	7,6	7,6	6,7
MO %	4,31	14,48	11,55	13,10	13,10	11,55

7.3.1.3 – Potássio, Magnésio, Cálcio, Sódio e Fósforo

De acordo com RODELLA; FERRARI, 1977; FREIRE; CORTEZ, (2000) o potássio é o cátion predominante e de maior importância no vinhoto. Considerando a aplicação de vinhoto na irrigação de canaviais, GLÓRIA (1985) relata que a cana é altamente exigente em potássio e sua carência reflete não apenas na diminuição da biomassa produzida, como também no menor acúmulo de açúcares no colmo, explicado pela menor fotossíntese e pela menor translocação. Ocorre, também, diminuição do crescimento da cana, além da formação de colmos mais finos com internódios mais curtos (ORLANDO FILHO, 1977).

Os resultados das análises, apresentadas na Tabela 7.5, mostraram que após quatro meses de interação entre o solo e o vinhoto, que houve grande elevação nos teores de potássio, magnésio, cálcio e sódio, em que para o potássio a diferença é mais expressiva que nos demais. O que corrobora com PENATTI et al., (1988), que afirma que o vinhoto pode ser empregado como fertilizante orgânico, contendo alto teor de matéria orgânica, potássio e água, sendo relativamente pobre em nitrogênio e cálcio, com baixos teores de fósforo e magnésio.

Tabela 7.5 – Teores de potássio, magnésio, cálcio, sódio e fósforo.

	Solo puro	1 semana	2 semanas	1 mês	2 meses	4 meses
K	0,1	36,3	34,1	40,7	44,1	44,1
Mg mmol _c /dm ³	4,3	19,1	18,6	16,6	32,0	18,9
Ca mmol _c /dm ³	16,0	32,8	30,3	24,9	35,5	30,1
Na mmol _c /dm ³	0,3	3,1	3,2	3,8	4,2	4,0
P mg/dm ³	1	3	3	5	4	4

7.3.1.4 – Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

De acordo com Santos (2006) a análise da CTC tem por finalidade determinar a capacidade que os argilominerais têm em reter ou ceder os cátions trocáveis e a determinação das seguintes relações:

- Valor SB (%) – Corresponde à soma das bases extraíveis de um solo e é calculada pela soma de Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺;

- Valor T (%) - Representa a atividade das argilas, relacionada a CTC, onde $T = S + Al^{3+} + H^{+}$. Para valores iguais ou superiores a 27 cmolc/kg de argila, temos uma atividade alta das argilas (Ta), e a atividade baixa (Tb), para valores inferiores a 27 cmolc/kg.

- Valor V (%) - corresponde à saturação das bases trocáveis onde $V = S \times 100/T$. Valores iguais ou superiores a 50% são considerados como de alta saturação, classificando o material como eutrófico, enquanto valores inferiores a 50% determinam baixa saturação, indicando materiais distróficos.

- $(100Al^{3+}/SB+Al^{3+})$ - É a saturação de alumínio trocável. Resultados maiores que 50% são classificados como álicos, o que significa que são solos com alumínio em quantidades tóxicas para a vegetação.

A Tabela 7.6 mostra os resultados obtidos para a CTC, S, T, V e da saturação do alumínio trocável.

Tabela 7.6 – CTC, Soma das Bases e Saturação.

	Solo puro	1 semana	2 semanas	1 mês	2 meses	4 meses
CTC mmol/dm ³	31,3	119,9	107,1	102,8	134,9	111,9
SB (soma das bases)	20,7	91,3	86,2	86,0	115,8	97,1
V %	66	76	80	84	86	87
T	31,3	119,9	107,1	102,8	134,9	111,9
$100Al^{3+}/S+Al^{3+}$	0,0			0,0		0,0

Todas essas análises estão de acordo com Ferreira (1980), citado por Busato (2004), que afirma que a utilização de grandes quantias de vinhoto aumenta os teores de K, Mg e Ca no solo, provocando elevação do pH e da CTC e redução de Al^{3+} e de H^+ , podendo-se concluir que o seu uso pode dispensar a adubação potássica.

O valor de T na Tabela 7.7 mostra que a amostra utilizada pode ser considerada uma argila de alta atividade. Com relação à saturação das bases trocáveis pode-se considerar o material como eutrófico.

7.3.1.5 – Ferro, Cobre, Zinco, Manganês e Boro

Pode-se perceber pela Tabela 7.7, que o teor de ferro mais que centuplicou durante as observações. Boom (2003) afirma que mais freqüentemente, as toxicidades ao ferro são encontradas nos solos, especialmente naqueles de pH muito baixo ou em solos com má drenagem. O excesso de ferro pode interferir na adsorção de manganês, zinco, cobre, fósforo, cobalto e cálcio.

Boom (2003) relata também que os solos calcários são particularmente propensos à deficiência de zinco, que provavelmente afetará as leguminosas antes das

gramíneas. Níveis elevados de zinco no solo podem reduzir a produtividade da pastagem, especialmente em áreas onde os níveis de cobre encontram-se reduzidos.

Ao longo de quatro meses de interação os teores de manganês quase decuplicaram. Para Boom (2003), o excesso de manganês é freqüentemente encontrando em solos muito ácidos e em solos sujeitos a encharcamento e a plantas variam em sua tolerância e necessidades de manganês, sendo difícil apresentar números críticos genéricos. Os níveis de manganês nos solos variam consideravelmente dependendo do tipo de solo e do teor de matéria orgânica. A assimilação de manganês pelas plantas pode diminuir devido a níveis elevados de ferro, cobre, zinco e fósforo disponíveis.

Tabela 7.7 – Níveis de Ferro, Cobre, Zinco, Manganês e Boro.

	Solo puro	1 semana	2 semanas	1 mês	2 meses	4 meses
Fe mgdm ³	5,12	38,20	49,31	169,00	319,9	720,00
Cu mgdm ³	0,07	0,38	0,12	0,08	0,07	0,08
Zn mgdm ³	0,22	0,65	0,79	1,07	0,87	0,85
Mn mgdm ³	0,29	2,49	2,31	2,81	2,37	2,76
B mgdm ³	0,65	0,95	0,84	0,82	0,77	1,16

7.3.2 – Ensaio EDX

As amostras utilizadas na caracterização química do solo também foram submetidas a ensaios realizados com a utilização de um espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva, que é utilizado para determinar a presença e a quantidade de praticamente todos elementos da tabela periódica, de sódio a urânio, passando pelo carbono, que poucos equipamentos detectam.

A Tabela 7.8 apresenta os resultados dos ensaios EDX realizados para uma amostra, para a interação do vinhoto com o solo por uma semana, por duas semanas, por um mês, por dois meses e por quatro meses.

Tabela 7.8 - Composição química do solo com vinhoto por meio de ensaio EDX

	Solo puro	1 semana	2 semanas	1 mês	2 meses	4 meses
SiO ₂	55,383%	48,169	48,558	48,337	47,829	46,598
Al ₂ O ₃	37,584	38,592	39,012	39,933	39,445	40,254
Fe ₂ O ₃	2,998	5,801	5,393	5,106	5,384	5,794
K ₂ O	--	0,955	0,966	0,943	1,160	1,021
SO ₃	1,775	2,540	2,390	2,174	2,448	2,439
TiO ₂	2,020	3,289	3,086	2,896	3,080	3,148
CaO	0,112	0,386	0,355	0,387	0,410	0,360
V ₂ O ₅	0,055	0,078	0,074	0,094	0,082	0,173
ZrO ₂	0,073	0,190	0,165	0,130	0,163	0,214

Os resultados mostram que ocorreu uma redução de quase 10% nos percentuais de óxido de silício em contraposição a uma elevação significativa de alumínio, ferro, potássio, enxofre, titânio e cálcio. O que sugere haver um processo de adsorção desses elementos enquanto há dessorção do silício. Fato evidenciado pelo crescimento significativo da CTC.

7.4. Caracterização do vinhoto

7.4.1. – Variação da densidade e do pH do vinhoto

O vinhoto após ser coletado foi levado ao laboratório, onde se deu início ao processo de acompanhamento da variação de pH e da densidade.

Para se verificar a variação do pH e da densidade do vinhoto foram realizadas medições de pH e leituras do densímetro, em condições ambientais, por um período de aproximadamente dois meses. O vinhoto foi colocado em provetas de um litro e as medições foram efetuadas periodicamente. As Figuras 7.7 e 7.8 apresentam os resultados dessa avaliação preliminar.

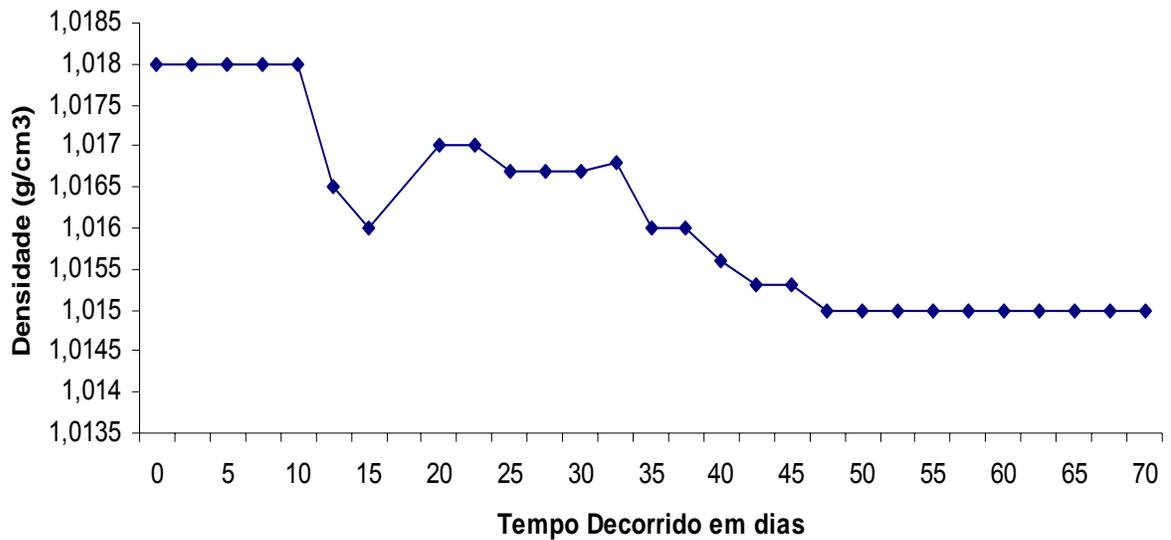


Figura 7.7 - Variação da densidade x tempo

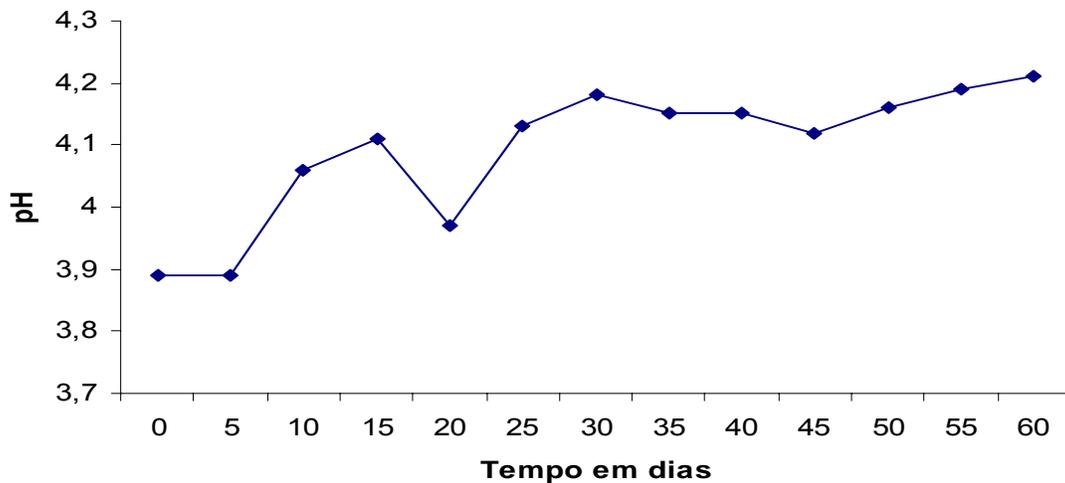


Figura 7.8 - Variação do pH x tempo

A variação da densidade do vinhoto foi de $1,015 \text{ g/cm}^3$ até $1,018 \text{ g/cm}^3$. Já o pH do vinhoto apresenta variações, mas em geral, há uma tendência de aumento com o passar do tempo. Os valores variam de 3,9 até aproximadamente 4,2 como mostra o gráfico da figura. Observou-se durante o período de medição que na superfície do vinhoto acumulava-se uma espuma de coloração amarelada, sugerindo que havia um processo de degradação em andamento.

7.4.2. - Caracterização química do vinhoto

A caracterização química do vinhoto foi realizada com duas amostras; uma filtrada (1B) e outra não (1A). Foram utilizados filtros quantitativos faixa azul. O objetivo foi eliminar impurezas do vinhoto para que não viessem a interferir nos resultados de permeabilidade. Os resultados são apresentados nas Tabelas 7.9 e 7.10, em que se pode verificar diferença entre os valores obtidos para o vinhoto filtrado e não filtrado, evidenciando a presença dos nutrientes pesquisados nessas impurezas.

Tabela 7.9 - Composição química do vinhoto (filtrado)

pH	N Kg/m ³	P ₂ O ₅ Kg/m ³	K ₂ O ₃ Kg/m ³	Ca Kg/m ³	Mg Kg/m ³	C %	Na Kg/m ³	CE dS/m	Fe mg/dm ³	Cu mg/dm ³	Zn mg/dm ³	Mn mg/dm ³
4,00	0,52	0,14	3,52	1,05	0,75	1,16	-	13,28	42	1	1	9

Tabela 7.10 - Composição química do vinhoto (não filtrado)

pH	N Kg/m ³	P ₂ O ₅ Kg/m ³	K ₂ O ₃ Kg/m ³	Ca Kg/m ³	Mg Kg/m ³	C %	Na Kg/m ³	CE dS/m	Fe mg/dm ³	Cu mg/dm ³	Zn mg/dm ³	Mn mg/dm ³
4,00	0,58	0,16	3,75	1,06	0,80	1,21	-	13,46	44	1	1	9

Como relatado na literatura corrente, pode-se observar o pH ácido (pH 4) e elevado teor de micro-nutrientes; potássio, fósforo e nitrogênio.

7.4.3. – Estudo da degradação biológica do vinhoto

O objetivo da realização desse ensaio foi o de avaliar uma eventual variação dos níveis de nitrogênio e de potássio com vistas a identificar o fenômeno do decaimento biológico. Com relação ao nitrogênio, os resultados apontam uma ligeira queda ao longo dos cinco meses de observação. Para o potássio também é verificada uma pequena redução. A Tabela 7.11 mostra os resultados das análises químicas das amostras, em que foram analisados o nitrogênio e o potássio, podendo-se concluir que, no período de cinco meses, houve decaimento biológico tanto com relação ao nitrogênio como em relação ao potássio.

Tabela 7.11 – Níveis de N e K no estudo de degradação biológica do vinhoto

Tempo em dias	Nitrogênio Kg/m ³	Potássio Kg/m ³
1	0,396	3,450
2	0,360	3,300
4	0,405	3,150
8	0,261	3,000
15	0,333	3,075
30	0,376	3,150
60	0,334	3,150
150	0,350	3,075

7.4.4 – Caracterização microbiológica do vinhoto

Nas placas inoculadas com o vinhoto previamente congelado, como mostram as Figuras 7.9 e 7.10, o crescimento de colônias não foi observado. Isso indica, que o suposto microrganismo presente no vinhoto, provavelmente não suporta baixas temperaturas (0°C). No entanto, as placas inoculadas com o vinhoto que permaneceu a temperatura ambiente desde a sua coleta, foram feitas observações a olho nu de algumas colônias.



Figura 7.9 - Placa inoculada com vinhoto congelado (Meio Ágar com caldo nutritivo).



Figura 7.10 - Placa inoculada com vinhoto congelado (Meio Ágar com BHI).

Nestas placas, observou-se colônias lisas, brilhantes, com bordas regulares (circular), e cor esbranquiçada. A multiplicação destas células dá origem a colônias de aspecto semelhante à bactérias e leveduras, indicadas nas Figuras 7.11 e 7.12, onde as setas indicam colônias isoladas. Análises microscópicas foram realizadas com intuito de verificar os microorganismos existentes.

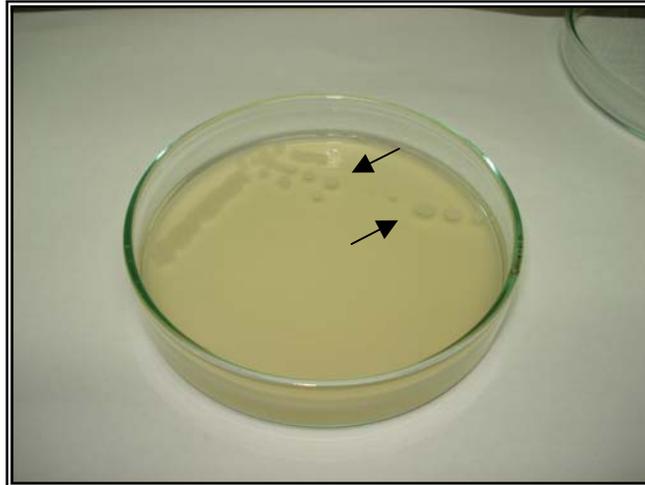


Figura 7.11 – Placa inoculada com vinhoto à temperatura ambiente (Meio Ágar com caldo nutritivo).



Figura 7.12 – Placa inoculada com vinhoto à temperatura ambiente (Meio Ágar com BHI).

A observação microscópica mostrou que os microorganismos existentes no vinhoto não são bactérias. Aparentemente são leveduras, do gênero *Saccharomyces* (Figura 7.13). A levedura da fermentação alcoólica, a *Saccharomyces cerevisiae* é

constituída de uma única célula (unicelular), a qual, geralmente, apresenta-se sob as formas ovais ou esféricas. As setas nas figuras indicam as células em divisão (gemulação), forma característica de reprodução das leveduras.

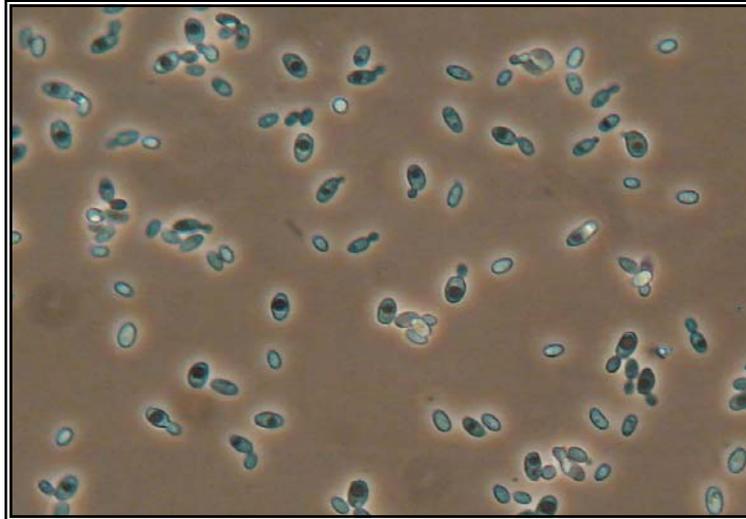


Figura 7.13 - Células de *Saccharomyces cerevisiae*.

A levedura *Saccharomyces cerevisiae*, é um aeróbio facultativo, ou seja, tem a capacidade de se ajustar metabolicamente, tanto em condições de aerobiose como de anaerobiose (ausência de oxigênio). Organismos saprófitas, exigem uma fonte de carbono elaborada (glicose, sacarose, ou outro açúcar) que fornece a energia química e o esqueleto carbônico de suas estruturas celulares, constituídas predominantemente de carbono, oxigênio e nitrogênio. Utiliza o nitrogênio nas formas amoniacal (NH_4^+), amídica (uréia) ou amínica (aminoácidos). Tem pouquíssima ou nenhuma habilidade de utilizar as proteínas do meio. O fósforo, por sua vez, é absorvido na forma de íon (H_2PO_4^-), enquanto o enxofre pode ser assimilado do sulfato, sulfito ou tiosulfato.

São mesófilas, ou seja, admitem como temperatura ótima de 26 a 35°C, mas, não raramente, a temperatura nas destilarias alcança 38°C. E se desenvolvem numa ampla faixa de pH, sendo adequada entre 4 e 5. No entanto, em mostos industriais podem se encontrar na faixa de 4,5 a 5,5.

Uma vez em ação no vinhoto, essas leveduras se multiplicam formando, com o passar do tempo, uma massa considerável de matéria orgânica, o que leva a colmatação dos poros do solo, diminuindo a permeabilidade.

7.5 – Parâmetros dos Mecanismos de Transporte de Massa

Nos corpos de prova CP01, CP02 e CP03, o volume de vinhoto percolado coletado foi de aproximadamente seis vezes o volume de vazios. Na Tabela 7.12 são apresentadas as concentrações de Nitrogênio e Potássio para cada amostra de efluente coletado dos corpos de prova CP01, CP02 e CP03.

Tabela 7.12 – N° de volume de poros e concentrações de Nitrogênio e Potássio

Amostras	CP01			CP02			CP03		
	n° de vol.	N Kg/m ³	K ₂ O Kg/m ³	n° de vol.	N Kg/m ³	K ₂ O Kg/m ³	n° de vol.	N Kg/m ³	K ₂ O Kg/m ³
A1	0,25	0,010	0,300	0,25	0,018	0,300	0,25	0,018	0,180
A2	0,50	0,012	0,225	0,50	0,018	0,300	0,50	0,018	0,180
A3	0,75	0,045	0,600	0,75	0,027	0,375	0,75	0,027	0,225
A4	1,00	0,063	0,600	1,00	0,063	1,050	1,00	0,090	0,375
A5	1,25	0,099	1,200	1,25	0,108	1,725	1,25	0,135	1,350
A6	1,50	0,135	1,800	1,50	0,117	2,625	1,50	0,117	1,350
A7	1,75	0,117	2,175	1,75	0,144	2,700	1,75	0,162	2,250
A8	2,00	0,117	2,550	2,00	0,135	2,925	2,00	0,153	2,475
A9	2,25	0,171	2,625	2,25	0,126	3,075	2,25	0,153	2,700
A10	2,50	0,153	2,625	2,50	0,162	3,000	2,50	0,180	3,300
A11	2,75	0,171	2,775	2,75	0,135	3,000	2,75	0,162	3,375
A12	3,00	0,189	2,775	3,00	0,153	3,000	3,00	0,153	3,975
A13	3,25	0,171	2,775	3,25	0,162	3,075	3,25	0,162	3,900
A14	3,50	0,180	2,925	3,50	0,135	3,075	3,50	0,144	3,975
A15	3,75	0,171	3,000	3,75	0,153	2,925	3,75	0,135	3,825
A16	4,00	0,207	3,075	4,00	0,171	3,225	4,00	0,135	3,975
A17	4,25	0,153	3,075	4,25	0,153	3,450	4,25	0,135	3,750
A18	4,50	0,162	3,825	4,50	0,162	3,375	4,50	0,144	3,825

A19	4,75	0,279	3,225	4,75	0,153	3,375			
A20	5,00	0,189	3,300	5,00	0,153	3,375			
A21	5,25	0,162	3,375	5,25	0,153	3,300			
A22	5,50	0,207	3,300	5,50	0,153	3,450			
A23	5,75	0,189	3,300	5,75	0,198	3,450			
A24	6,00	0,153	3,375	6,00		3,375			
A25	6,25	0,171	3,375	6,25		3,450			

A amostra de vinhoto filtrado apresentou $0,189 \text{ kg/m}^3$ para o Nitrogênio e $3,375 \text{ kg/m}^3$ para o potássio. Considerando-se esses valores como concentração inicial e os valores de cada amostra percolada pelos corpos de prova como concentração final, se obtém então os valores de concentração relativa, como mostra a Tabela 7.13 para o nitrogênio e a Tabela 7.14 para o potássio, a partir da divisão da concentração total inicial pela concentração final de cada amostra.

Tabela 7.13 – Concentrações relativas para o Nitrogênio

Amostras	CP01	CP02	CP03
1	0,05291	0,095238	0,095238
2	0,063492	0,095238	0,095238
3	0,238095	0,142857	0,142857
4	0,333333	0,333333	0,47619
5	0,523810	0,571429	0,714286
6	0,714286	0,619048	0,619048
7	0,619048	0,761905	0,857143
8	0,619048	0,714286	0,809524
9	0,904762	0,666667	0,809524
10	0,809524	0,857143	0,952381
11	0,904762	0,714286	0,857143
12	1,000000	0,809524	0,809524
13	0,904762	0,857143	0,857143
14	0,952381	0,714286	0,761905
15	0,904762	0,809524	0,714286
16	1,095238	0,904762	0,714286
17	0,809524	0,809524	0,714286
18	0,857143	0,857143	0,761905
19	1,476190	0,809524	
20	1,000000	0,809524	
21	0,857143	0,809524	
22	1,095238	0,809524	
23	1,000000	1,047619	
24	0,809524		
25	0,904762		

Tabela 7.14 – Concentrações relativas para o Potássio

Amostras	CP01	CP02	CP03
1	0,088889	0,088889	0,053333
2	0,066667	0,088889	0,053333
3	0,177778	0,111111	0,066667
4	0,177778	0,311111	0,111111
5	0,355556	0,511111	0,400000
6	0,533333	0,777778	0,400000
7	0,644444	0,800000	0,666667
8	0,755556	0,866667	0,733333
9	0,777778	0,911111	0,800000
10	0,777778	0,888889	0,977778
11	0,822222	0,888889	1,000000
12	0,822222	0,888889	1,177778
13	0,822222	0,911111	1,155556
14	0,866667	0,911111	1,177778
15	0,888889	0,866667	1,133333
16	0,911111	0,955556	1,177778
17	0,911111	1,022222	1,111111
18	1,133333	1,000000	1,133333
19	0,955556	1,000000	
20	0,977778	1,000000	
21	1,000000	0,977778	
22	0,977778	1,022222	
23	0,977778	1,022222	
24	1,000000	1,000000	
25	1,000000	1,022222	

Com a relação entre os números de volumes de vazios e os dados de concentração relativa pode-se plotar as curvas de chegada para cada elemento estudado em cada corpo de prova.

Considerando como primeiro caso o Nitrogênio estudado no CP01 a Figura 7.14 mostra a curva de chegada obtida.

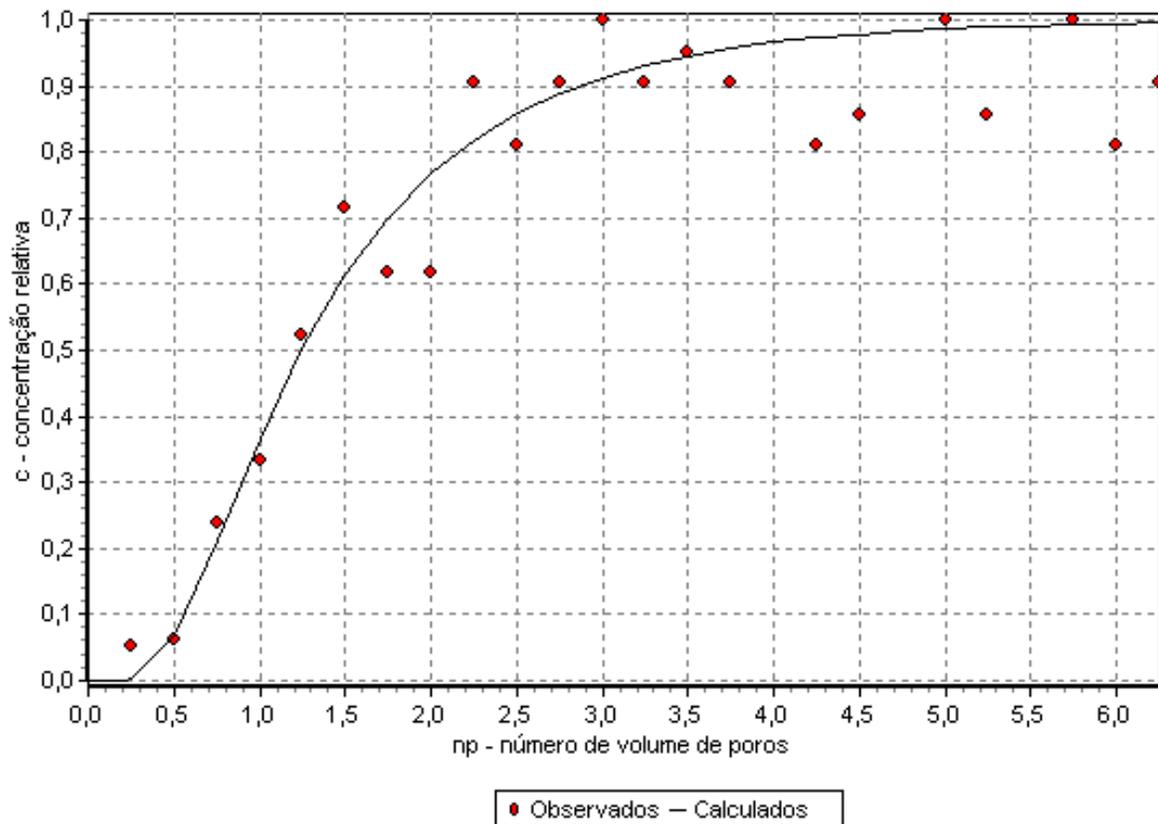


Figura 7.14 – Curva de chegada de N do CP01

Conforme a Equação 6.1 é possível obter o fator de retardamento diretamente a partir da curva de chegada. Assim para o primeiro caso tem-se que:

$$R = 1,24$$

Com o valor de permeabilidade à carga constante ao vinhoto obtido para o CP01, que é de $2,9 \times 10^{-6}$ cm/s, pode-se obter a partir da Equação 3.9, o valor de v .

$$v = 1,38 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

A partir da Equação 3.7 pode-se então obter V' .

$$V' = 1,14 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

Assim, se tem em mãos todos os dados necessários para se poder resolver a Equação 3.5. As concentrações relativas, os volumes de vazios, bem como o teor de umidade, densidade, fluxo e altura de cada corpo de prova, serviram como dados de entrada no programa computacional DISP, que fornece como dados de saída o fator de retardamento R , o coeficiente de dispersão. Para cada corpo de prova o programa fornece um arquivo de resultados, que é mostrado abaixo para cada corpo de prova contendo nitrogênio e também para potássio.

Para o caso do nitrogênio do corpo de prova 1, obtém-se:

$$D \text{ (cm}^2\text{/h): } 0,0441$$

Para o caso do nitrogênio do corpo de prova 2, obtém-se a curva apresentada pela Figura 7.15, mostra a curva de chegada obtida.

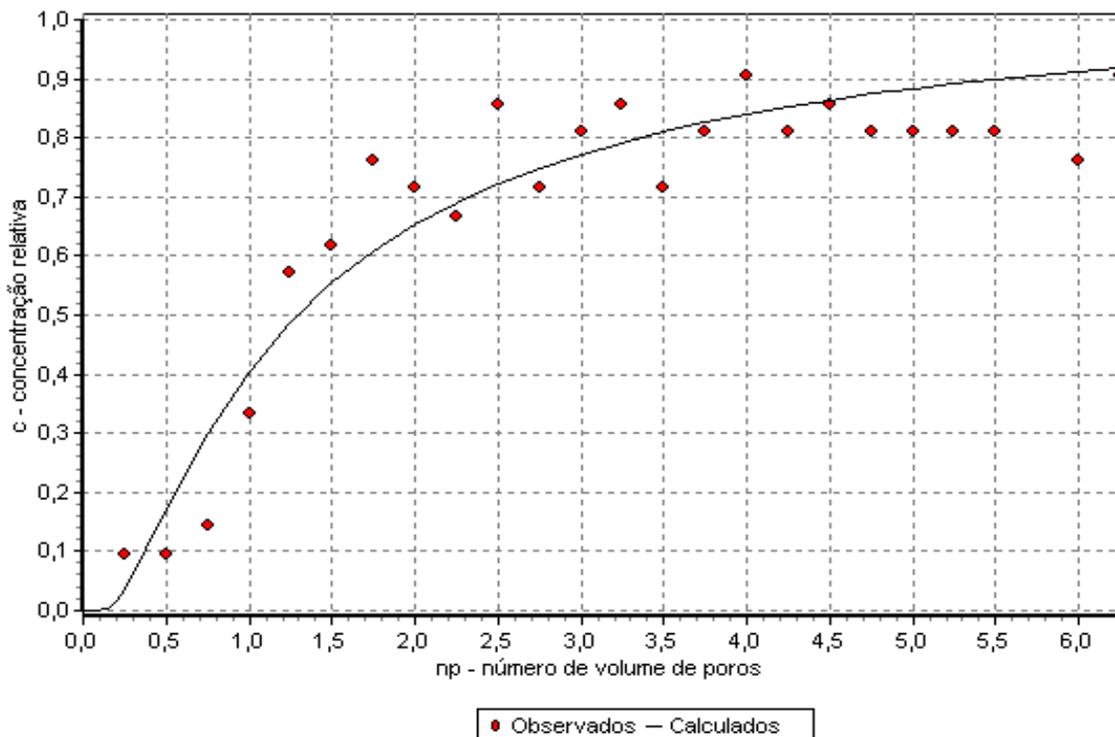


Figura 7.15 – Curva de chegada de N para o CP02

Pela Figura 7.11 obtém-se:

$$R = 1,334$$

Com o valor de permeabilidade à carga constante ao vinhoto obtido para o CP01, que é de $3,7 \times 10^{-6}$ cm/s, pode-se obter a partir da Equação 3.9, o valor de v .

$$v = 1,37 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

E pela resolução da Equação 3.5:

$$D (\text{cm}^2/\text{h}) = 0,0973$$

Para o caso do nitrogênio do corpo de prova 3 a curva de chegada é apresentada na Figura 7.16:

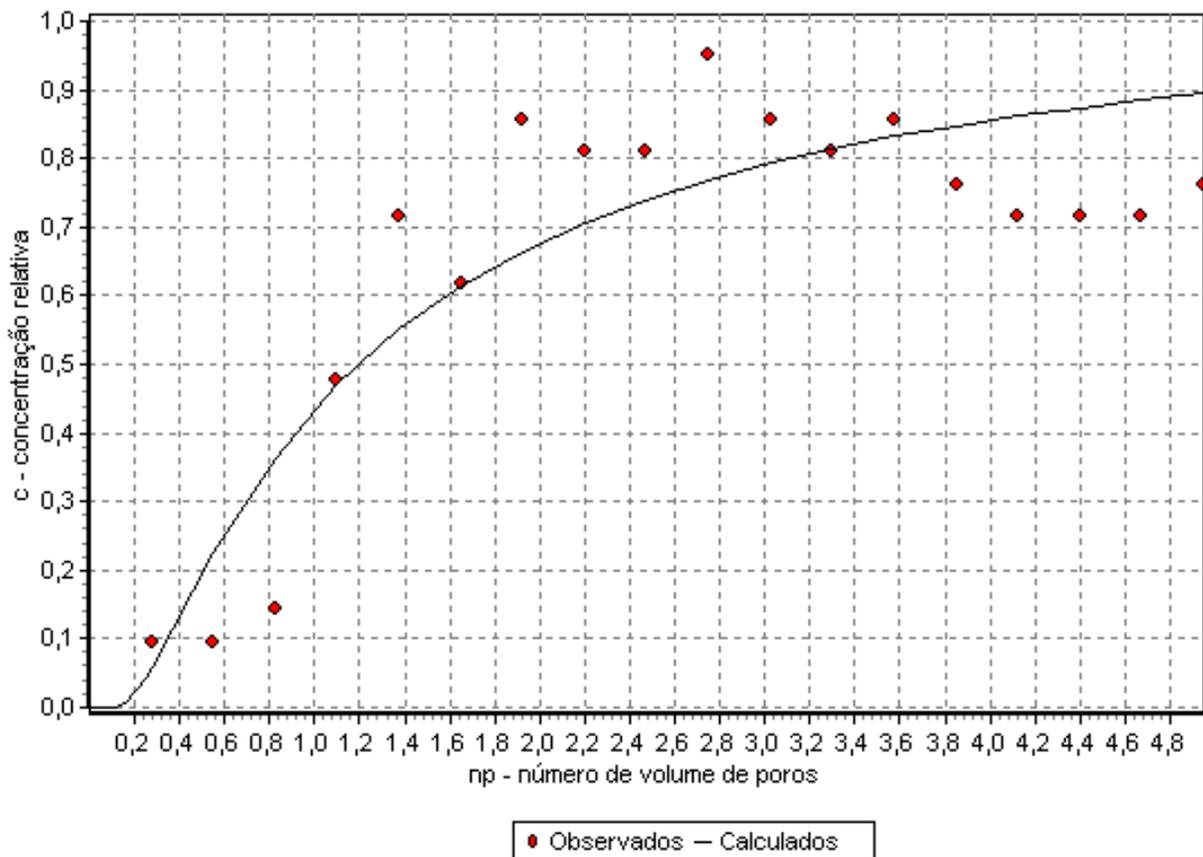


Figura 7.16 – Curva de chegada de N para o CP03

R: 1,243

D (cm²/h): 0,0129

Com o valor de permeabilidade à carga constante ao vinhoto obtido para o CP03, que é de $7,52 \times 10^{-7}$ cm/s, pode-se obter a partir da Equação 3.9, o valor de v .

$$v = 2,02 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

Já para o Potássio do CP01, pela Figura 7.17, tem-se:

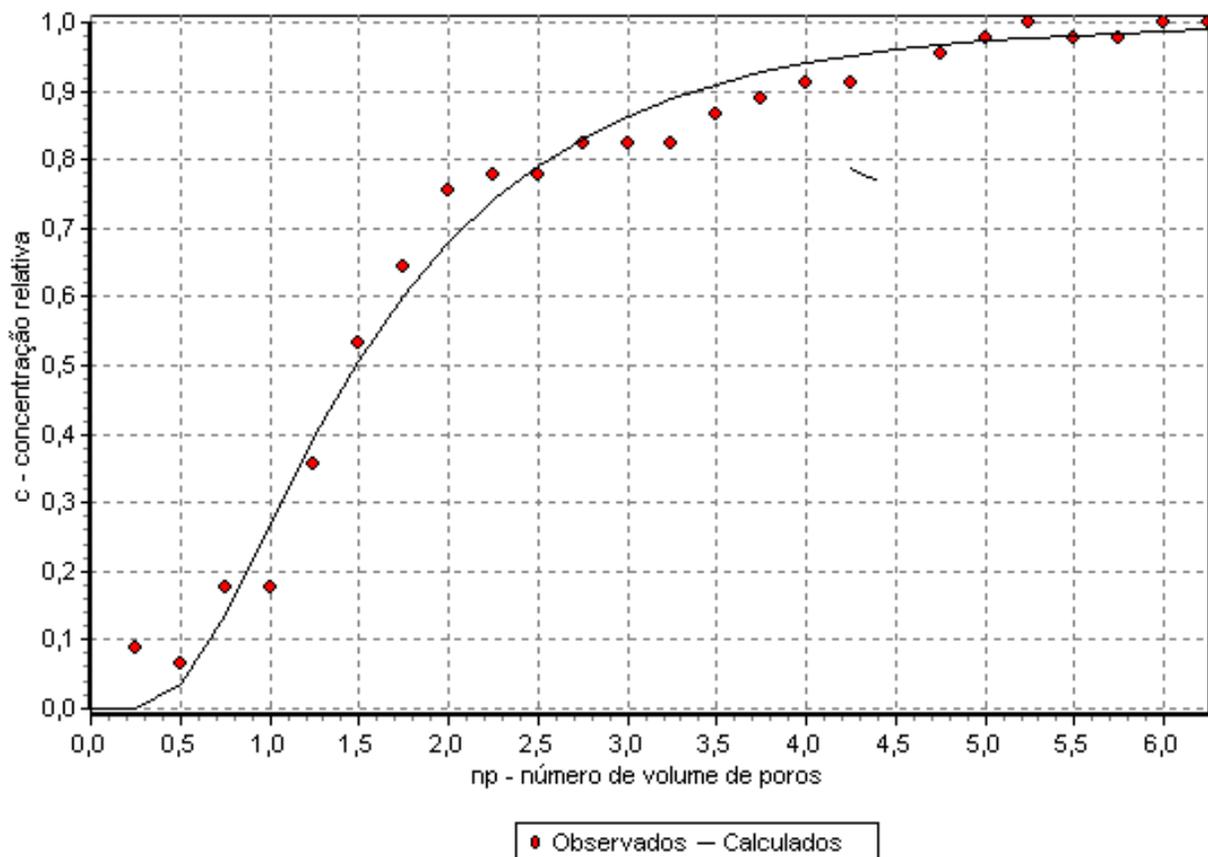


Figura 7.17 – Curva de chegada de K para o CP01

R: 1,486

D (cm²/h): 0,0433

Para o caso do Potássio do CP02 é apresentada a curva de chegada na Figura 7.18:

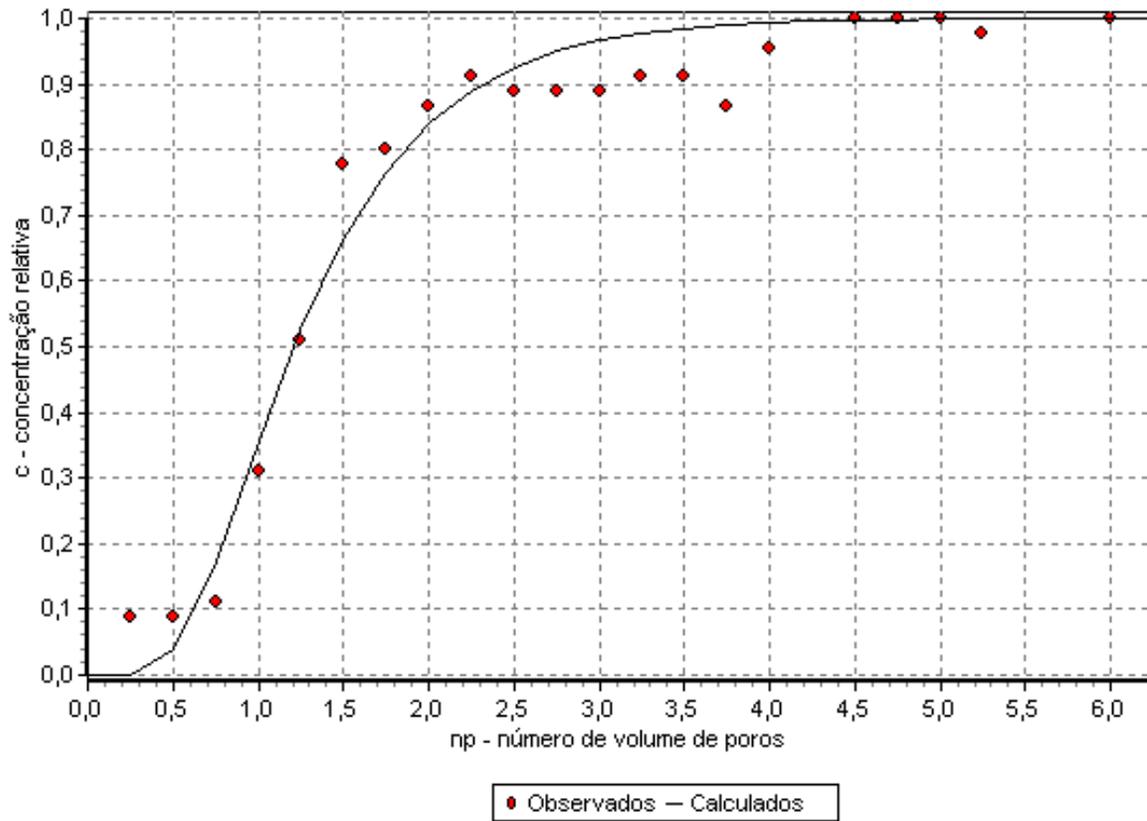


Figura 7.18 – Curva de chegada de K para o CP02

$$R = 1,209$$

$$D = 0,0220$$

Para o caso do potássio do corpo de prova 3, obtém-se pela Figura 7.19:

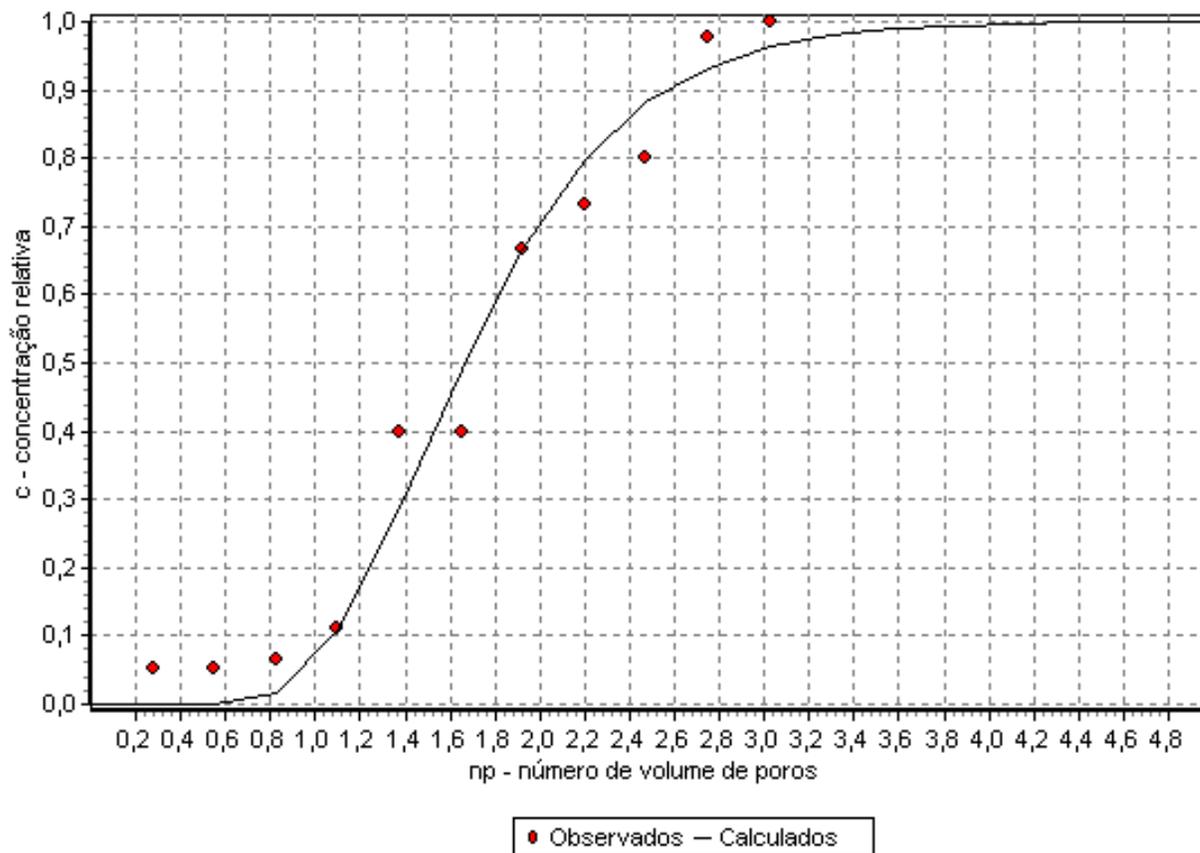


Figura 7.19 – Curva de chegada de K para o CP03

$$R = 1,662$$

$$D = 0,0095$$

Assim, chega-se a uma situação em que se tem em mãos três valores de coeficiente de dispersão hidrodinâmica D para o nitrogênio e três para o potássio. Temos também três valores de velocidade de percolação do fluido para cada elemento. A Tabela 7.15 mostra a relação de coeficiente de dispersão hidrodinâmica e velocidade de percolação do fluido para o nitrogênio e para o potássio em cada corpo de prova.

Tabela 7.15 - Relação de 'D' e 'R' do Nitrogênio e Potássio dos corpos de prova

Corpos de Prova	Velocidade de percolação cm/s	Coeficiente de Dispersão Hidrodinâmica D (cm ² /s)		Fator de Retardamento R	
		N	K	N	K
CP01	$1,38 \times 10^{-4}$	0,0441	0,0433	1,24	1,486
CP02	$1,37 \times 10^{-4}$	0,0973	0,0220	1,334	1,209
CP03	$2,02 \times 10^{-5}$	0,0129	0,0095	1,243	1,662

Traçando-se um gráfico de Coeficiente de Dispersão x Velocidade de percolação e em seguida fazendo-se uma regressão linear pode-se obter os valores do Coeficiente de Difusão molecular e a Dispersividade que são os elementos necessários para se resolver a Equação 3.1. Para o caso do Nitrogênio obtém-se o gráfico da Figura 7.20 que sugere um coeficiente de difusão molecular de 0,0032.

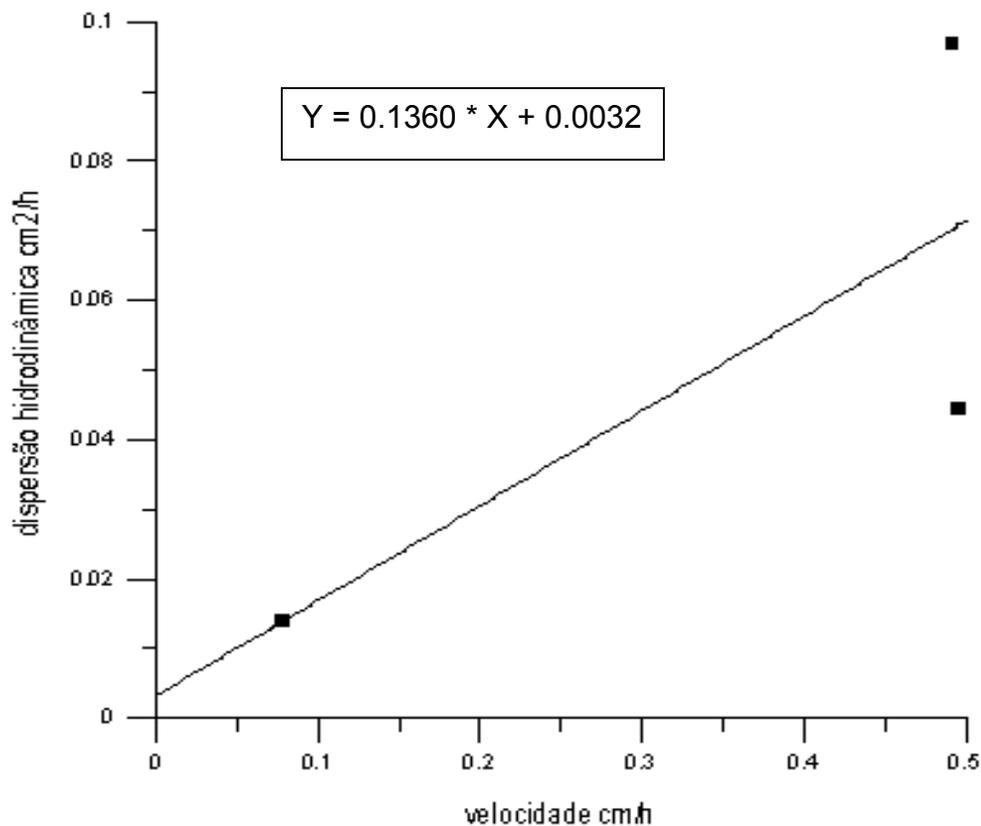


Figura 7.20 – Relação entre a dispersão hidrodinâmica e a velocidade média (N)

Para o caso do Potássio, ilustrado pelo gráfico da Figura 7.21, observa-se um coeficiente de difusão molecular na ordem de 0,0054.

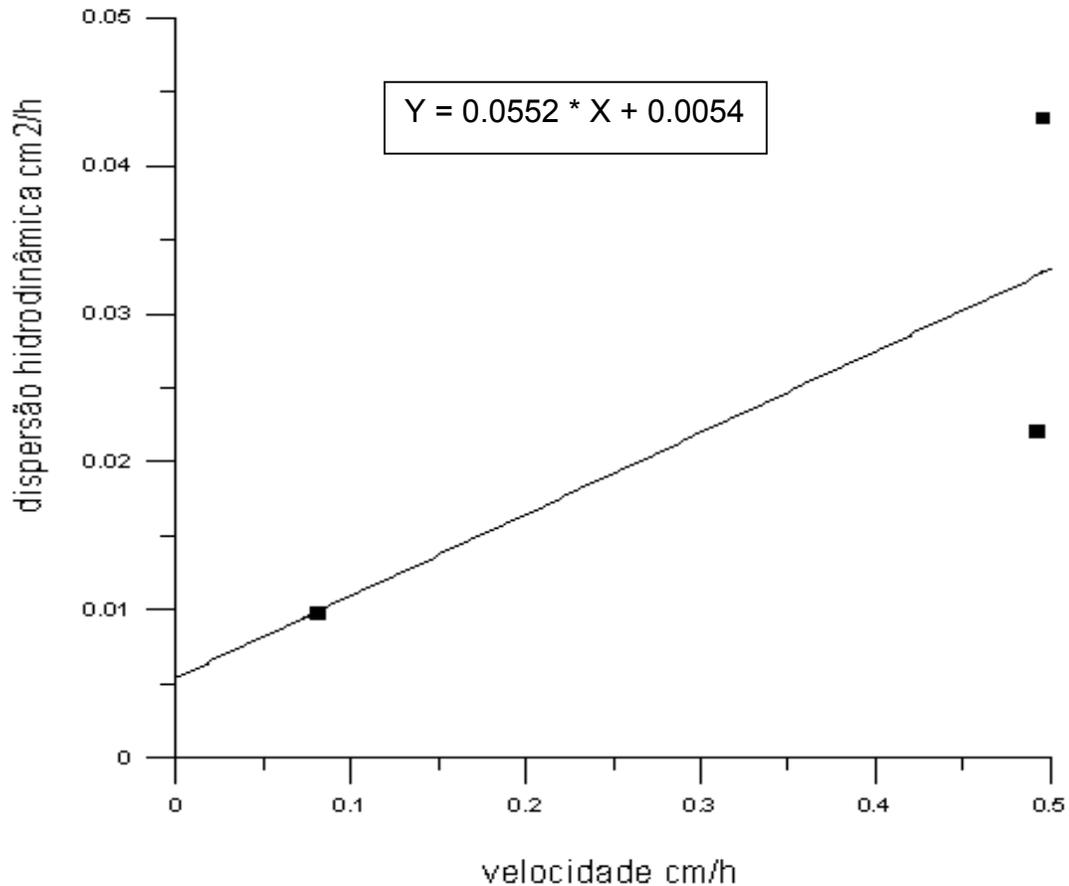


Figura 7.21 – Relação entre a dispersão hidrodinâmica e a velocidade média (K)

Há uma proximidade entre os valores de velocidade de percolação do vinhoto no CP01 e CP02, já com relação ao CP03 existe significativa diferença. Pode-se atribuir essas variações ao tempo de percolação pelos corpos de prova. Isto se deve ao fato de que com o espaço de tempo de poucos dias já se pode perceber a formação de camadas de material orgânico que, segundo a análise microbiológica, se trata de atividade microbiana, uma vez que o vinhoto é rico em nutrientes que favorecem ao desenvolvimento de microorganismos. O que fica evidente é que essa camada de matéria orgânica provoca a colmatação dos poros do solo e, em consequência disso, a diminuição da condutividade hidráulica.

O período de percolação do CP01 e do CP02 foi aproximadamente 45 dias, já para o CP03 este período se estendeu por cerca de 120 dias. Deve-se ressaltar que, ao final dos ensaios, os corpos de prova foram submetidos à análise química, conforme mostra a Tabela 7.16.

Tabela 7.16 – Análise química dos corpos de prova dos ensaios em colunas.

	CP01	CP02	CP03
pH	5,40	5,40	5,30
Al mmol _c /dm ³	2,00	3,50	4,60
H + Al mmol _c /dm ³	17,60	20,30	21,90
C %	1,00	4,30	4,30
MO %	6,90	7,41	7,40
K	22,00	20,90	22,40
Mg mmol _c /dm ³	10,30	12,30	12,90
Ca mmol _c /dm ³	13,60	17,50	18,70
Na mmol _c /dm ³	1,90	1,90	0,40
P mgdm ³	5,00	8,00	6,00
CTC mmol _c /dm ³	65,40	72,90	76,30
SB (soma das bases)	47,80	52,60	54,40
V %	73,00	72,00	71,00
Fe mgdm ³	21,23	35,81	65,60
Cu mgdm ³	0,50	0,72	0,60
Zn mgdm ³	2,23	2,49	2,80
Mn mgdm ³	2,00	2,20	2,30
B mgdm ³	0,95	1,21	1,00

Os resultados apresentados nas análises dos corpos de prova confirmam a tendência observada nas análises químicas dos ensaios de Interação Direta se solo e vinhoto.

7 – Conclusões

O presente trabalho investigou aspectos relacionados à interação de uma amostra de solo com vinhoto, e a variação do coeficiente de permeabilidade do solo com esse efluente.

Percebeu-se também a intensa atividade microbiana do efluente. A análise microbiológica indicou a presença do microorganismo *Saccharomyces Cerevisiae*, que é uma espécie de levedura utilizada no processo de produção do álcool, sendo responsáveis pela degradação do açúcar no processo de fermentação industrial. Uma vez em ação no vinhoto, essas leveduras se multiplicam formando, com o passar do tempo, uma massa considerável de matéria orgânica, o que leva a colmatação dos poros do solo, diminuindo a permeabilidade.

Do ensaio de degradação biológica pode-se verificar a redução dos teores de Nitrogênio e de Potássio indicando assim a ocorrência de decaimento biológico.

Do ensaio em colunas pode-se averiguar a existência de retardamento com valores próximos de um, o que mostra a sorção como mecanismo de transporte de massa menos importante que a advecção na relação entre o solo escolhido e o vinhoto, mas Também foi possível obter pelo ensaio de colunas o coeficiente de dispersão, o coeficiente de difusão molecular e a dispersividade, que são os parâmetros necessários para se identificar a ocorrência e importância da dispersão hidrodinâmica como mecanismo de transporte de massa na relação entre o solo e o vinhoto.

Os resultados dos ensaios de caracterização sugerem que a presença do vinhoto no solo pode acarretar na aglutinação das partículas de argila, possivelmente aumentando a permeabilidade do mesmo. É interessante observar que se por um lado existe um efeito de aglutinação, por outro, a produção de matéria orgânica durante a degradação do açúcar e a produção do álcool, tenderia a diminuir a permeabilidade do solo.

Observou-se nos ensaios de caracterização que o vinhoto tem um efeito de floculação das partículas de argila no solo. Isto foi constatado nos resultados dos ensaios de sedimentação realizados com o defloculante, com a água e com o vinhoto.

Constatou-se também a diminuição do valor do coeficiente de permeabilidade do solo ao vinhoto sugerindo que a degradação microbiológica do vinhoto, pelas leveduras

do processo de fermentação, favoreceu a produção de matéria orgânica, resultando na colmatação dos poros do solo.

Das análises químicas dos diversos ensaios realizados foi possível verificar a elevação nos teores de praticamente todos os elementos identificados no solo após a interação por quatro meses com o vinhoto. Fato importante quando se leva em conta elementos como o Potássio e o Fósforo que são de extrema importância para a agricultura, servindo assim como excelente fertilizante. Mas o que preocupa é a elevação exagerada dos níveis de elementos como o Ferro, Manganês e Boro, que são metais pesados que podem vir a ser prejudiciais ao ser humano caso sejam lixiviados e contaminem as águas subterrâneas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. **Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.28, n.1, p.115-23, 2004

ANDRIOLI, I. **Efeitos da vinhaça em algumas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro textura média**. 1986. 85 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986

AYERS, R.S. e WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado 1)

BOOM, R. **Solo saudável, pasto saudável, rebanho saudável - a abordagem equilibrada** / Conferência Virtual Global sobre Produção Orgânica de Bovinos de Corte 02 de setembro à 15 de outubro de 2002 —Via Internet

BOSCOV, M. E. G. (1997). **Contribuição ao Projeto de Sistemas de Contenção de Resíduos Perigosos Utilizando Solos Lateríticos**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 269p.

BUSATO, J.G.; **Formas de fósforo de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo**_(2004).

CAMPOS, T.M.; ELBACHÁ, A.T. **Avaliação do fator de retardamento por adsorção no transporte de zinco em solos argilosos**. In: Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos-Regeo'91, Rio de Janeiro, 1991. Anais... Rio de Janeiro, 1991. p.271-282.

CREMASCO, M. A. **Fundamentos de Transferência de Massa**, Editora da UNICAMP, Campinas, 1998.

DODDS, G.T.; MANDRAMOOTO, C.A.; SEREM, V.K. **Predicting nitrate-N leaching under different tillage systems using LEACHM and NTRM**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, V.41, n.41, n.4, p. 1025-1034, 1998.

EMBRAPA: **Manual de métodos de análises de solo**. 2ª edição Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, (1997). 212p

EPA – United States Environmental Protection Agency (1992). **Batch-type Procedures for Estimating Soil Adsorption of Chemicals. Technical Resource Document**, EPA/530-SW-87-006-F, 99p.

FERREIRA, P.A. **Manejo de água planta em solos salinos**. 2001, 110f. Apostila Acadêmica (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 2001.

FETTER, C.W. 1993. **Contaminant Hydrogeology**. Macmillan Publishing Company, U.S. 458p.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. (1979). **Groundwater**. Prentice Hall, Inc. U.S. 604p.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíra: Livraria e Editora Agropecuária, 2000.

GARCIA, G.O.; **Alterações químicas, físicas e mobilidade de íons no solo decorrentes da aplicação de água residuária da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro conilon**. 2003, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 2003.

GLÓRIA, N. A. **Efeito do potássio na acumulação de sacarose pela cana-de-açúcar**. Álcool & Açúcar, São Paulo, v.5, n.23, p.20-25, 1985.

LAMO, PAULO DE. **Sistema Produtor de Gás Metano Através de Tratamento de Efluentes Industriais** - METHAX/BIOPAQ - CODISTIL - Piracicaba, 1991.

MATOS, A.T.; COSTA, L.M. DA; FONTES, M.P.F.; MARTINEZ, M.A. **Correlação entre os fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo, e algumas propriedades físicas dos solos.** Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.6, n.4, p.235-246, 1998.

MEDINA, C.C.; BRINHOLI. O. **Uso de resíduos agroindustriais nas produções de cana-de-açúcar, açúcar e álcool,** 1998.

MELO, J.A.S. Aplicação de águas residuárias no solo como um método de tratamento: disposição final e reciclagem das águas usadas. **Engenharia sanitária**, n. 17, p. 82-91, 1978.

NOBRE, M.M.M. (1987). **Estudo Experimental do Transporte de Poluentes em Solos Argilosos Compactados.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil da PUC-RJ. 214p.

OLIVEIRA, P. A.V. de, **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia, SC: EMBRAPA – CNPSA, 1993. 188p. (Doc., 27).

OLIVEIRA, R.A.; CAMPELO, P.L.G.; MATOS, A.T.; MARTINEZ, M.A.; CECON, P.R. Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo Argissolo vermelho amarelo. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental.** V.4, n.2, p.1263-267, 2000.

ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação de cana-de-açúcar.** Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p.10-16, 1977.

PAGANINI, W.S. **Disposição de esgotos no solo: escoamento à superfície**. São Paulo: Fundo editorial da AESABESP, 1997. 232p.

PENATTI, C. P. et al. Efeitos da aplicação da vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. *Boletim Técnico Copersucar*, São Paulo, v.44, p.32-38, 1988.

PIGNATELLO, J.J.; ***Sorption dynamics of organic compounds in soils and sediments***; SSSA Special Publication nº 22, New Haven, Connecticut, **1989**; p.45-80.

PREVEDELLO, C.L. **Física de solos com problemas resolvidos**. Curitiba: SAEFAS, 1996, 446 p.

QUEIROZ, P.I.B.; **MÉTODOS quantitativos para transporte de contaminantes**; Notas de aula do curso de Fenômenos de Transporte, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil; **2003**.

QUEIROZ, P.I.B.; **Um método numérico para análise de adensamento e transporte de contaminantes no solo**; Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil; **2002**.

REBOUÇAS, A.C. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999.

RODELLA, A. A.; FERRARI, S. R. A composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 1, p. 380-387, 1977

RODELLA, A. A.; **Métodos de análise quantitativa inorgânica em caldo de cana, vinhaça e melado. II. Nova macha analítica para determinação de cálcio, magnésio, potássio, enxofre e fósforo num mesm extrato**. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro 1977

ROSSETO, A. J.; RESENDE, L.C.L.; ALONSO, J.C.; BUSSIOLI, S. **Sistemas de distribuição de vinhaça utilizados pela Usina São João, Araras-SP.** In: SEMINÁRIO SOBRE VINHAÇA, COMPOSIÇÃO E APLICAÇÃO, i, 1997 Piracicaba: ESALQ/USP, 1987, P 10 - 38

ROWE, R. K., QUIGLEY, R. M. & BOOKER, J. R. (1995) – **Clayey Barrier Systems for Waste Disposal Facilities**, E&FN Spon, London. 390 pp.

SANTOS, L.V.; POLIVANOV,H.;ALAMINO, R.C.J.;SILVA, V.H.G. **Adsorção de Cloreto e Potássio em Solos Tropicais.** Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ ISSN 0101-9759 Vol. 29 - 2 / 2006 p. 101-121

SHACKELFORD, C.D. 1993. **Contaminant transport.** *Geotechnical Practice For Waste* Stevenson, F. J. Cycles of sil-carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrientes. In: Tan, K.H. (Ed.). Principles of soil chemistry. 2.ed. New York:Marcell Dekker, 1986, 362p.

VALOCCHI, A.J. **Describing the transport of ion-exchanging contaminants using an effective Kd approach.** Water Resource Research, Washington, v.20, n.4, p.499-503, 1984

VAN GENUCHTEN, M.TH.; WIERENGA, P.J. **Solute dispersion coefficients and retardation factors.** In: Klute, A. (ed.) **Methods of soil analysis.** I: Physical and mineralogical methods. Madison: ASA, SSSA, 1986, p.1025-1054.

VIANA, C. ELOI, **Produção de Biogás a Partir de Vinhoto,** BRASIL – EUROPA – Seminário de energia de Biomassa e resíduos – Belo Horizonte, 1988.

VIEIRA, R.F. e RAMOS, M.M. Fertirrigação. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.: ALVAREZ, V.G. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** 5ª Aproximação. Viçosa: Imprensa Universitária. 1999.359p.

XAVIER, S. **Álcool como Carburantes Razões da sua Utilização. Brasil Açucareiro,**
Vol. 76 n.º 5, p. 16- 20, nov/1970.