

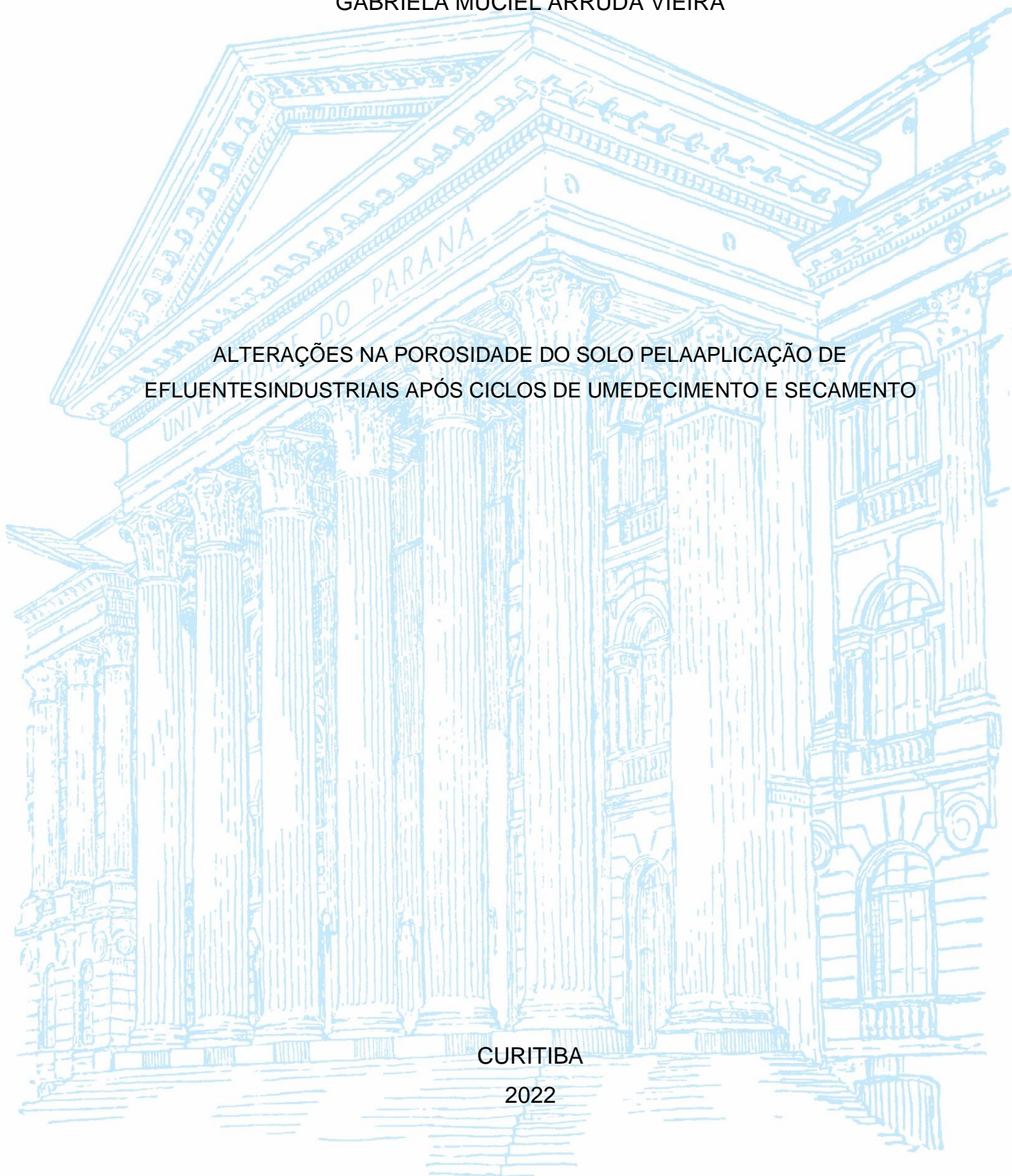
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELA MUCIEL ARRUDA VIEIRA

ALTERAÇÕES NA POROSIDADE DO SOLO PELA APLICAÇÃO DE  
EFLUENTES INDUSTRIAIS APÓS CICLOS DE UMEDECIMENTO E SECAMENTO

CURITIBA

2022



GABRIELA MUCIEL ARRUDA VIEIRA

ALTERAÇÕES NA POROSIDADE DO SOLO PELA APLICAÇÃO DE  
EFLUENTES INDUSTRIAIS APÓS CICLOS DE UMEDECIMENTO E SECAMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. André Carlos Auler

CIDADE

2022



## TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL


GABRIELA MUCIEL ARRUDA VIEIRA

### ALTERAÇÕES NA POROSIDADE DO SOLO PELA APLICAÇÃO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS APÓS CICLOS DE UMEDECIMENTO E SECAMENTO

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 87, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:   
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. André Carlos Auler  
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola – UFPR

Membro 1:   
\_\_\_\_\_  
Dr. Bruno Vizioli  
Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – SENAR

Membro 2:   
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Michael Männich  
Departamento de Engenharia Ambiental – UFPR

Curitiba, 06 de maio de 2022

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho e acreditaram no meu potencial. A todos aqueles que aqui estão, após pandemia da COVID-19. A todos aqueles que não estão mais entre nós, pós pandemia da COVID-19.

## **AGRADECIMENTOS**

Às empresas Essencis Soluções Ambientais e Grupo Malwee, por disponibilizarem seus efluentes para o estudo, e pela disponibilidade em atender as dúvidas.

Ao meu orientador, André Carlos Auler, que trilhou os caminhos a serem seguidos até atingirmos o objetivo com sucesso. Por ter me ajudado no procedimento experimental, na análise dos resultados e na conclusão.

Ao Horácio Manfrin Mazero, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, por ter me ajudado no procedimento experimental e análise dos resultados.

À minha mãe, Silmara Arruda, pelo amor e apoio incondicional. Por sempre acreditar em mim e que tudo isso se tornaria realidade.

À Silvana Arruda, pelo amor e apoio incondicional. Por sempre acreditar em mim e que tudo isso se tornaria realidade.

À Maria Helena Casagrande, que ajudou nos procedimentos primordiais para a construção da mesa de tensão e me apoiou em todos os momentos mais difíceis.

À Carolina Golçalves, que ajudou e inspirou este trabalho ao meu lado.

Ao Alexandre Binatti, pela companhia no laboratório durante as férias, pelo apoio emocional em todos os momentos e por me fazer acreditar que seria possível.

“Só fazemos melhor aquilo que repetidamente insistimos em melhorar. A busca da excelência não deve ser um objetivo, e sim um hábito.”

(Aristóteles, 384-322 AC)

## RESUMO

Devido à grande importância em se analisar e quantificar o potencial do impacto causado na estrutura do solo, pelo reuso dos efluentes industriais na fertirrigação, o trabalho foi desenvolvido. A porosidade do solo, especialmente a distribuição do tamanho dos poros, é um importante fator de controle para infiltração do solo, condutividade hidráulica e retenção de água. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da aplicação de efluentes industriais na estrutura do solo. O experimento foi realizado em Curitiba-PR, onde a mesa de tensão foi construída e o ensaio foi conduzido empregando as amostras indeformadas de solo à ciclos de umedecimento e secamento (U-S), coletadas à profundidade de 0-20 cm, com um amostrador. Foram avaliadas as propriedades físicas do solo, como densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, após ciclos U-S. Os dados oriundos dos diferentes sistemas foram submetidos à análise estatística pelo teste de Tukey ( $p < 0.05$ ) de probabilidade. Após cinco ciclos U-S, os resultados mostraram que para os efluentes, têxtil e laticínios, houve redução na porosidade total do solo. Foram observados maiores valores de densidade para o solo que recebeu o efluente proveniente do tratamento de percolado de aterro industrial. Os efluentes de laticínios e têxtil, apresentaram mesmo comportamento quanto à porosidade total, divergindo do efluente de aterro industrial. Desta forma pode-se concluir que a utilização de água de reuso para fins agronômicos deve ser de forma controlada e monitorada.

Palavras-chave: Mesa de tensão. Umedecimento e secamento. Efluentes industriais. Estrutura do Solo.

## ABSTRACT

Due to the great importance of analyzing and quantifying the potential impact caused on the soil structure by the reuse of industrial effluents in fertigation. Soil porosity, especially pore size distribution, is an important controlling factor for soil infiltration, hydraulic conductivity, and water retention. In this context, the objective of this work was to evaluate the influence of the application of industrial effluents on the soil structure. The experiment was carried out in Curitiba-PR, where the test was carried out using undisturbed soil samples at wetting and drying cycles (U-S), collected at a depth of 0-20 cm, with a sampler. Soil physical properties, such as soil density, macroporosity, microporosity, total porosity, were evaluated after U-S cycles. Data from the different systems were submitted to statistical analysis using the Tukey test with  $p < 5\%$  probability. After five U-S cycles, the results showed that for the effluents, textile and dairy, there was a reduction in the total porosity of the soil. Higher density values were observed for the soil that received the effluent from industrial landfill leachate treatment. The dairy and textile effluents showed the same behavior in terms of total porosity, differing from the industrial landfill effluent. Thus, it can be concluded that the use of reuse water for agronomic purposes must be controlled.

Keywords: Tension Table. Wetting and drying. Industrial effluents. Soil Structure.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ÁREA DA AMOSTRAGEM (FAZENDA UFPR) .....	22
FIGURA 2 - LOCAL DA AMOSTRAGEM (FAZENDA UFPR) .....	22
FIGURA 3 - MESA DE TENSÃO EM PROCESSO DE CONSTRUÇÃO: MANGUEIRA FIXADA ENVOLVIDA COM VOIL .....	25
FIGURA 4. AMOSTRAS SOBRE A MESA DE TENSÃO CONSTRUÍDA.....	25
FIGURA 5. AMOSTRAS SATURANDO COM EFLUENTES INDUSTRIAIS. ....	27
FIGURA 6. ESQUEMA DA MESA DE TENSÃO NA TENSÃO DE 6KPA.....	27

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – RESULTADOS PARA POROSIDADE TOTAL ( $cm^3.cm^{-3}$ ) DURANTE OS CINCO CICLOS PARA OS EFLUENTES TÊXTIL, DE LATICÍNIOS E DE ATERRO INDUSTRIAL.....	33
GRÁFICO 2 – RESULTADOS DA MACROPOROSIDADE DURANTE OS CINCO CICLOS PARA OS EFLUENTES TÊXTIL, DE LATICÍNIOS E DE ATERRO INDUSTRIAL.....	34
GRÁFICO 3 – RESULTADOS PARA MICROPOROSIDADE DURANTE OS CINCO CICLOS PARA OS EFLUENTES TÊXTIL, DE LATICÍNIOS E DE ATERRO INDUSTRIAL.....	35

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES .....	15
TABELA 2 – PADRÕES DE QUALIDADE.....	16
TABELA 3 - ATIVIDADE ECONÔMICA PRINCIPAL DE CADA EMPRESA .....	20
TABELA 4 – ESPECIFICAÇÕES DO MATERIAL UTILIZADO NA MONTAGEM DA MESA DE TENSÃO .....	24
TABELA 5 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE NO CICLO 1 .....	30
TABELA 6 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE NO CICLO 2 .....	30
TABELA 7 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE NO CICLO 3 .....	31
TABELA 8 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE NO CICLO 4 .....	31
TABELA 9 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE NO CICLO 5 .....	32
TABELA 10 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DENSIDADE DO SOLO	32
TABELA 11 - MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DA PROPRIEDADE FÍSICA DO SOLO POROSIDADE TOTAL (PT).....	33
TABELA 12 - MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DA PROPRIEDADE FÍSICA DO SOLO MACROPOROSIDADE (Ma).....	34
TABELA 13 - MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DA PROPRIEDADE FÍSICA DO SOLO MICROPOROSIDADE (Mi) .....	35

## **LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS**

UFPR	- Universidade Federal do Paraná
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
FEPAM	- Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessle
IAT	- Instituto Água e Terra
NBR	- Norma Brasileira

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS .....	14
1.1.1 Objetivo geral .....	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>15</b>
2.1 LEGISLAÇÕES PARA EFLUENTES.....	15
2.2 EFLUENTES INDUSTRIAIS: GERAÇÃO, DESTINAÇÃO E TRATAMENTOS ...	17
2.3 SOLO E SEUS ATRIBUTOS: POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE.....	18
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
3.1 SELEÇÃO DOS EFLUENTES DE ESTUDO.....	20
3.1.1 Efluente Têxtil (ET).....	20
3.1.2 Efluente de Laticínios (EL) .....	21
3.1.3 Efluente da Estação de tratamento de Efluentes Industriais e lixiviado de Aterro Industrial (EI).....	21
3.2 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO .....	21
3.3 PREPARAÇÃO E ANÁLISES DAS AMOSTRAS .....	22
3.4 MESA DE TENSÃO.....	23
3.4.1 Descrição do equipamento.....	23
3.4.2 Procedimento de montagem .....	24
3.4.3 Ensaio da mesa de tensão .....	26
3.5 DENSIDADE, MICROPOROSIDADE E MACROPOROSIDADE DO SOLO .....	28
3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	29
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>29</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>37</b>
<b>ANEXO 1 – LISTA DE VALORES ORIENTADOS PARA SOLOS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b> .....	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é utilizada para incontáveis atividades humanas, e sua escassez é um fator limitante em relação ao desenvolvimento social e econômico (Duarte *et al.*, 2008). No cenário nacional, e mundial, a grande expansão das indústrias tem provocado a geração de grandes volumes de resíduos sólidos e efluentes, sendo eles gasosos ou líquidos, constituindo-se em uma grande preocupação ambiental e econômica.

A disposição e o reuso de efluentes tratados, gerados na agricultura e indústria moderna, são tecnologias muito utilizadas para tratamento e disposição desses efluentes em grandes volumes, oriundos dos processos de fabricação das grandes produtoras do Brasil, sendo uma estratégia de saneamento emergente. Como uma alternativa, a fertirrigação de florestas tornou-se uma metodologia aplicada que objetiva agregar na produtividade das técnicas de manejo, aumentando a disponibilidade de recursos, como água e nutrientes, e conseqüentemente a produtividade do plantio (Rezende (2003).

Segundo Haruvy (1997), a aplicação da água residuária na irrigação pode reduzir os custos das fertilizações, bem como os custos do tratamento do efluente. Tal prática tornou-se atrativa para as indústrias, mitigando o potencial poluidor dos efluentes e reduzindo os custos de armazenamento. Esses efluentes industriais contêm nutrientes, e o solo funciona como um biofiltro natural. Esgotos domésticos tratados representam adubos naturais para a produção de alimentos, elevando a produção e obtendo retornos econômicos (León & Cavallini, 1999). O processo de disposição de efluente no solo deve ser planejado e gerenciado (Rezende, 2003).

Além disso, a Resolução CONAMA nº430, de 13 maio de 2011 (CONAMA 430/2011), dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2011). Já a Portaria FEPAM nº68/2019 determina os critérios para disposição final de efluentes líquidos sanitários e efluentes líquidos industriais em solo, no Estado do Rio Grande do Sul, podendo inclusive ser utilizado na fertirrigação, desde que realizados estudos de viabilidade técnica e impactos ambientais. No Estado do Paraná, está sendo desenvolvida uma legislação para definição de parâmetros para a destinação de efluentes no solo, pelo Instituto

Água e Terra (IAT), utilizando como referência a Portaria FEPAM nº68/2019 do Rio Grande do Sul.

Alguns estudos apresentam exemplos de efluentes industriais dispostos no solo para a fertirrigação, sendo eles resíduos da indústria de laticínios (Teixeira *et al.*, 2020), de azeite de oliva (Ramires *et al.*, 2020), de efluente tratado de fábrica de celulose (Rezende, 2003), da indústria sucroalcooleira (Dos Santos Silva *et al.*, 2020).

Ao avaliar a estrutura do solo, o acúmulo de uma pequena parte do sódio no solo ocorre diante da fertirrigação com efluente de laticínios, levando em consideração a sanilização e sodificação do solo (Teixeira *et al.*, 2020). O acúmulo de sódio pode reduzir a estabilidade dos agregados (Taghizadehghasab *et al.*, 2021). Em termos de aplicação, os resultados do estudo de Taghizadehghasab *et al.* (2021) demonstram que a qualidade da água é um fator importante a ser considerado no comportamento físico e mecânico do solo e nas operações de campo e preparo do solo. Pode ocorrer a obstrução de poros, reduzindo a porosidade total do solo (Farahani *et al.*, 2018) e a conectividade dos poros. Conseqüentemente, os processos de fluxo, como a condutividade hidráulica e a permeabilidade ao ar, são reduzidos (Fei *et al.*, 2019).

Nesse sentido, as restrições ao uso dos resíduos podem estar relacionadas com alterações na estrutura do solo (“João carlos medeiros resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na correção da acidez de um cambissolo húmico álico” (2008). Os requerimentos e normativas legais relativos ao gerenciamento das águas tornaram-se mais restritivos, exigindo a verificação de alternativas para o reuso e melhoria nos processos de tratamento e disposição final das águas residuárias, assim, aumentou o interesse na aplicação de efluentes no solo (Rezende (2003). No Brasil, existem legislações específicas que regulamentam os requisitos necessários para a disposição dos resíduos no solo, principalmente sólidos, para utilização como condicionador do solo ou composto orgânico (CONAMA, 2017).

A retenção de água no solo é a energia de ligação entre esses elementos, consequência das forças capilares, da gravitacional e das propriedades minerais e orgânicas com a capacidade de absorção de água. A determinação da retenção de água em baixas tensões (até 100 hPa) é imprescindível para diferenciação entre os poros capilares (microporos) e não capilares (macroporos) (Oliveira, 1968).

A necessidade da drenagem da água nas amostras de solo tem levado muitos pesquisadores a utilizar a mesa de tenção para determinação da retenção de água no

solo (Santos, 2020). No entanto, essa determinação em baixas pressões é utilizada para diferenciação entre os poros capilares ou não de um sistema (Santos, 2020).

Como uma alternativa viável, estão a construção e validação de uma mesa de tensão, reduzindo o tempo de ensaio. As mesas de tensão têm como princípio a remoção de água do solo até uma determinada tensão aplicada por meio da diferença de potencial promovida pela coluna d'água, cujo potencial é maior que as forças de retenção (Teixeira; Behring, 2017). No presente estudo consideramos o valor da macroporosidade aquele obtido com a tensão correspondente a uma coluna d'água de 60 cm de altura.

Nesta lógica, diante das inconsistências nos resultados em literaturas e a escassez de estudos desta natureza no Brasil, este trabalho identificou o comportamento da aplicação de efluentes industriais tratados no solo, assim como as alterações na estrutura do solo, por meio de experimentos envolvendo uma mesa de tensão com areia em cinco ciclos de umedecimento e secamento, simulando a disposição de efluentes no solo. Para caracterização física do solo, foram realizadas análises de densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento de efluentes industriais no solo, dando ênfase ao efeito na estrutura causado pela aplicação de efluentes em sucessivos ciclos de umedecimento e secamento.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Desenvolver uma mesa de tensão de baixo custo para simular ciclos de umedecimento e secamento.

Analisar as alterações no espaço poroso do solo em função da aplicação de efluentes, de indústrias têxtil, laticínios e estação de tratamento, durante ciclos de umedecimento e secamento (U-S).

Verificar a dependência de ciclos de U-S na alteração do espaço poroso do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 LEGISLAÇÕES PARA EFLUENTES

O Brasil conta com a Resolução CONAMA nº430, de 13 maio de 2011 (CONAMA 430/2011), que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama, 2011).

O Art. 2 da Resolução CONAMA nº430 estabelece que a disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento de efluentes, dispostos na Resolução, não podendo causar contaminação ou poluição das águas superficiais e/ou subterrâneas (Conama, 2011). Os parâmetros definidos pela CONAMA 430/2011 para o lançamento de efluentes tratados nos cursos d'água estão dispostos TABELA 1.

TABELA 1 – PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr+6
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr+3
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercurio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	20,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C6H5OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L

Xileno

1,6 mg/L

FONTE: CONAMA 430/2011 (2011).

Entretanto, no Brasil, o Estado do Rio Grande do Sul dispõe da Portaria FEPAM nº68/2019, que determina os critérios para disposição final de efluentes líquidos sanitários e efluentes líquidos industriais em solo. As medidas da Portaria se aplicam aos efluentes líquidos dispostos no solo por meio de valas, sumidouros, bacias, e lotes de infiltração e evapotranspiração, contemplando somente os efluentes gerados em empreendimentos do ramo alimentício ou outros, predominantemente compostos de carga orgânica. Até 20 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> o empreendimento está isento da Portaria. Além disso, o efluente não pode ser disposto às águas subterrâneas se estiver em desacordo com o enquadramento, classe 3, conforme CONAMA 396/2018.

A Resolução CONAMA nº420/2009 define critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, dispostos no Anexo 1 e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas, os quais são utilizados pela FEPAM nº68/2019.

O Art. 6 da Resolução FEPAM nº68/2019 define locais onde não é permitido dispor os efluentes no solo, raios mínimos, diferentes áreas e áreas de preservação, aquíferos etc. O Art. 7 determina que a disposição de efluentes no solo é condicionada a estudos técnicos sobre o local com avaliação de possíveis impactos qualitativos no solo e água subterrânea, e exemplifica o que os estudos devem contemplar em relação à caracterização do solo e das águas.

A TABELA 2 exhibe os padrões de qualidade determinados no Art.9 da Resolução FEPAM nº68/2019, para disposição de efluentes no solo.

TABELA 2 – PADRÕES DE QUALIDADE

Faixa de vazão do efluente (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	DBO (mg L <sup>-1</sup> )	DQO (mg L <sup>-1</sup> )	SST (mg L <sup>-1</sup> )	pH	Óleos e graxas minerais	Óleos e graxas vegetais ou animais
Q<200	120	330	140	6 a 9	10 mg/L	30 mg/L
200<=Q<500	100	300	100			
500<=Q<1000	80	260	80			
1000<=Q<2000	70	200	70			
2000<=Q<10000	60	180	60			
10000<=Q	40	150	40			

FONTE: FEPAM nº68 (2019).

## 2.2 EFLUENTES INDUSTRIAIS: GERAÇÃO, DESTINAÇÃO E TRATAMENTOS

Segundo a NBR 9800/1987, define-se efluente líquido industrial como o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanções de processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico. Efluentes são resíduos gerados em processos industriais e por atividades humanas (Santos *et al.* (2018). A disposição de efluentes no solo tem como objetivo realizar a destinação final do resíduo em qualidades e quantidades que não prejudiquem o solo, a água, o ar, os organismos etc. (Rezende (2003). Segundo Santos *et al.* (2018) diversos tipos de reuso existem e os mais utilizados são o urbano, o industrial e o agrícola.

A aplicação do efluente tratado da fábrica da Kraft, no solo, como fertirrigação é exemplo de uma tecnologia muito utilizada nos últimos anos (Rezende, 2003). O caso consiste na fertirrigação nos eucaliptos, fornecendo nutrientes e água para as plantas. Vários setores da indústria de celulose e papel geram efluentes, como o licor da polpação, a água de lavagem da polpa, o efluente da planta de branqueamento e o efluente da máquina de papel (Rezende, 2003).

No estudo sobre a aplicação de resíduos de papel e celulose, (Medeiros, 2008). verificou o aumento do pH, dos teores de sódio (Na) e de redução nos níveis de alumínio. A elevada concentração de Na e da relação  $\text{CaMg}^{-1}$  do resíduo ocasionou a dispersão do solo com danos à sua estrutura e favoreceu distúrbios fisiológicos nas plantas (Medeiros, 2008).

Segundo Charlet & Sposito (1989) e Ben-Hur *et al.* (1992), os cátions bivalentes reduzem a dispersão, e a saturação do solo com sódio aumenta a dispersão da argila, diminuindo a condutividade hidráulica (Medeiros, 2008). Essas modificações eletroquímicas interferem nas forças de atração e/ou repulsão, que são importantes nos processos de agregação do solo (Medeiros, 2008).

Os períodos de repouso da aplicação do efluente são comuns em muitas técnicas de disposição, permitindo haver tempo necessário para a degradação da matéria orgânica e drenagem das águas. Esses períodos podem variar conforme o método utilizado, o solo e cultura (Rezende, 2003).

Entretanto, sabe-se que a irrigação com efluente sem tratamento adequado gera grandes impactos ambientais, à saúde humana, ao solo, às águas subterrâneas e às culturas irrigadas, pois tanto o afluente como o efluente podem conter certos

constituintes poluentes. Os mais comuns são: a) demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos suspensos totais (SST); b) poluentes orgânicos, como os agrotóxicos; c) poluentes inorgânicos, como os metais pesados; d) excesso de macronutrientes, como o nitrogênio e o fósforo; e) microrganismos patogênicos, como as bactérias, os vírus e os parasitas; e f) os elementos que conferem a salinidade da água (Duarte *et al.* (2008). A indústria gera resíduos em diversos setores da produção e, normalmente, os efluentes de cada setor são misturados antes do tratamento, produzindo uma mistura contaminada (Rezende, 2003).

### 2.3 SOLO E SEUS ATRIBUTOS: POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE

A textura, a estrutura e a porosidade são características físicas básicas a serem consideradas, sendo a porosidade a característica responsável pelos mecanismos e fenômenos em física do solo, com relação ao comportamento da curva de retenção de água (Rondon *et al.*, 2020).

Segundo Arena (1945), na porosidade do solo deve-se diferenciar a chamada porosidade capilar (microporosidade) da porosidade não capilar (macroporosidade). A soma de ambos os valores constitui a porosidade total.

Ao avaliar a retenção de água no solo, a necessidade de drenagem em amostras de solo tem levado muitos pesquisadores a utilizar tensiômetros para determinar a retenção de água (Rondon *et al.*, 2020). No entanto, a determinação da retenção de água em baixas pressões é utilizada para diferenciação entre os poros capilares ou não, de um sistema (Rondon *et al.*, 2020).

As mesas de tensão têm como princípio a remoção de água do solo até uma determinada tensão aplicada por meio da diferença de potencial promovida pela coluna d'água (Teixaira; Behring, 2017). É usado para determinar, pelo método de deficiência de pressão, os vários conteúdos de umidade de um bloco de solo, previamente saturado, pela aplicação de tensões correspondentes a colunas d'água de 20 até 100 centímetros de altura (Oliveira, 1968). Em relação ao funcionamento da mesa de tensão, as amostras de solo perdem água quando o potencial é maior que as forças de retenção (Teixaira; Behring, 2017).

A determinação da porosidade total do solo realizada pelo método clássico, utilizando os valores da matéria sólida e do peso específico real, não especifica a condição de aeração efetiva do solo. As determinações denominadas de macro e microporosidade vieram caracterizar melhor a correlação entre os espaços de poros denominados de "grandes poros" (macro) e "pequenos poros" (micro) (Oliveira, 1968). Segundo Arena (1945), a porosidade do solo deve-se diferenciar a chamada porosidade capilar (microporosidade) da porosidade não capilar (macroporosidade). A soma de ambos os valores constitui a porosidade total.

Em solos, embora não haja distinção clara entre pequenos e macroporos, muitas classificações de tamanho de poros são citadas na literatura e, de forma mais simplificada, os poros são divididos em duas categorias: microporos e macroporos. Os microporos, também chamados de poros capilares, representam os poros responsáveis pela retenção de água no solo, enquanto os macroporos representam os poros responsáveis pela drenagem e aeração do solo (Brady, 1979).

A presença de uma rede de poros ideal no solo também tem um grande impacto na fertilidade do solo, afetando a relação entre drenagem, absorção de nutrientes, infiltração radicular, aeração e temperatura, que está diretamente relacionada ao desenvolvimento e produtividade das culturas (Letey, 1985).

Klein & Libardi (2002) classificaram poros maiores que 0,05 mm de diâmetro (com perda de água sob tensão menor que 6 kPa) como macroporos, microporos os poros entre 0,05 e 0,0002 mm de diâmetro (em 6 a 6 a 1500 kPa) e poros ocultos, poros com diâmetro inferior a 0,0002 mm (a perda de água ocorre apenas em tensões superiores a 1500 kPa).

Os microporos do solo se caracterizam pelo esvaziamento mais lento e condução de água mais lenta através do solo. Dentro dos poros internos dos agregados, existe uma gama de tamanhos de poros (de 0,05 mm a 0,0002 mm) responsáveis por reter a água e disponibilizá-la às plantas. A água retida em poros menores que 0,0002 mm de diâmetro não pode ser utilizada pelas plantas (Othmer *et al.*, 1991).

A distribuição dos poros na matriz do solo desempenha um papel importante na relação entre as fases sólida, líquida e gasosa, e determina a evolução espacial e temporal dos processos de movimentação da água no solo. Portanto, a distribuição do tamanho dos poros determina o comportamento físico da água do solo e afeta o potencial agrícola do solo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo utilizou-se amostras de solo com estrutura indeformada coletadas com o auxílio do extrator de solo de Uhland (1949). Na determinação da macro e microporosidade do solo, utilizou-se a mesa de tensão, anteriormente citada e descrita a seguir.

#### 3.1 SELEÇÃO DOS EFLUENTES DE ESTUDO

O estudo foi realizado com três efluentes industriais dos ramos têxtil, laticínios e tratamento de efluentes industriais com percolado de aterro industrial, previamente coletados pelas indústrias e fornecidos para o desenvolvimento do trabalho. As amostras foram coletadas em bombonas, aproximadamente 50 litros. A TABELA 3 apresenta a atividade econômica principal das indústrias.

TABELA 3 - ATIVIDADE ECONÔMICA PRINCIPAL DE CADA EMPRESA

<b>Efluente</b>	<b>Atividade econômica principal da empresa</b>
Laticínios	10.52-0-00 Fabricação de laticínios
Têxtil	14.12-6-01 Confecção de peças de vestuário, exceto roupas íntimas e as confeccionadas sob medida.
Estação de Tratamento	38.22-0-00 Tratamento e disposição de resíduos perigosos.

##### 3.1.1 Efluente Têxtil (ET)

Efluente têxtil, respondido pelo responsável, utiliza as seguintes etapas de tratamento: O efluente entra em um tanque de equalização, em seguida é direcionado para um tanque de aeração e após, o efluente passa para o tratamento biológico. Na próxima etapa, adiciona-se polímero e alvejante. Por fim, o efluente passa por um processo de decantação do lodo. Após esse tratamento, o efluente foi coletado e disponibilizado para o estudo.

### 3.1.2 Efluente de Laticínios (EL)

Para o tratamento do efluentes de laticínios, nas pesquisas realizadas diretamente com fornecedores, não obtive respostas. Em estudos da literatura, notou-se que o tratamento simples em lagoas facultativas é frequentemente utilizado na indústria de laticínios. A amostra do efluente têxtil tratado foi coletada e disponibilizada para o estudo.

### 3.1.3 Efluente da Estação de tratamento de Efluentes Industriais e lixiviado de Aterro Industrial (EI)

Em suma, uma estação de tratamento de efluentes é resultado de diversos processos. A estação de tratamento de efluentes industriais e lixiviado de aterro industrial se inicia em um tanque de equalização, onde são misturados os lixiviados dos aterros classes I e II, junto com efluentes industriais com baixa toxicidade e efluentes domésticos. Após equalização, o efluente passa para o tratamento físico-químico primário, onde utiliza-se um tanque alcalinizante e um decantador primário. O efluente é enviado para a lagoa de stripping, onde a amônia é volatilizada pela ação dos aeradores. Após, o efluente vai para a torre de stripping, com a finalidade de remover o nitrogênio amoniacal do efluente. Em seguida, o efluente tem o pH corrigido no tanque até atingir o pH neutro. Após esse processo, o efluente passa pelo lagoa biológica, aerada facultativa, e então passa por um decantador secundário. Por fim, o tratamento terciário é realizado pelo filtro de areia e posterior nanofiltração. A coleta da amostra foi realizada nesse ponto, após nanofiltração.

## 3.2 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi conduzido na Fazenda Canguiri da Universidade Federal do Paraná, localizada em Pinhais, no Paraná (Coordenadas UTM: 22J, 688582.88 m E, 7190394.05 m S). A amostragem foi realizada em uma área de 260m<sup>2</sup>, utilizando 60 anéis volumétricos (55x45mm) distribuídos aleatoriamente ao longo de toda área, conforme ilustram as FIGURAS 1 e 2.

FIGURA 1 - ÁREA DA AMOSTRAGEM (FAZENDA UFPR)



FONTE: FONTE: Imagem da autora na Fazenda Canguiri (2021).

FIGURA 2 - LOCAL DA AMOSTRAGEM (FAZENDA UFPR)



FONTE: Google Earth (2021).

### 3.3 PREPARAÇÃO E ANÁLISES DAS AMOSTRAS

Para condução do experimento, foram coletadas amostras indeformadas de solo na camada entre 0 e 10 cm de profundidade, com o auxílio do amostrador de Uhland, e conduzidas ao Laboratório na Universidade Federal do Paraná – Campus Agrárias, para determinação das características de como medir macro e microporosidade, conforme metodologias descritas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2017).

As amostras foram embaladas em filme plástico, para evitar perda de material e umidade, e armazenadas no refrigerador do Laboratório de Física do Solo, na Universidade Federal do Paraná.

Cada prova foi identificada e preparada, primeiramente, retirando o excesso de material, para obter uma superfície de contato uniforme do solo com a areia e uniformizar o volume de solo no anel. Na sequência, as bases das amostras foram envoltas com tecido tipo *voil*, presos com elástico, a fim de evitar a perda de material nos ensaios. Algumas amostras foram descartadas, devido à perda excessiva de solo no anel, totalizando 36 amostras, doze para cada efluente.

Após o devido preparo, as amostras indeformadas foram submetidas a cinco ciclos de umedecimento com os efluentes e secamento (U-S). O umedecimento será feito até a saturação completa do solo.

Primeiramente, foram saturadas em cada efluente. Para isso inseriram-se as amostras em bandejas, elevando-se gradualmente uma lâmina de efluente homogeneizado em uma bandeja até atingir cerca de dois terços da altura da amostra, iniciando a saturação das amostras por ascensão capilar até obter a saturação do solo, obtida visualmente. Os efluentes utilizados foram homogeneizados previamente.

Já o secamento foi condicionado em mesa de tensão, por meio da aplicação do potencial mátrico ( $\Psi_m$ ) de -6 kPa, equivalente à separação de macro e microporos, de maneira similar ao realizado em Pires *et al.* (2020). Neste trabalho, foram aplicados 5 ciclos de U-S; a cada ciclo, realizaram-se pesagens das massas das amostras saturadas e úmidas após mesa de tensão.

Em sequência à aplicação do último potencial mátrico  $\Psi_m$  nas amostras indeformadas, as provas passaram pela estufa em 105°C por 36 horas e foram pesadas para determinação da massa de solo seca ( $M_{ss}$ ), a fim de determinar a densidade do solo ( $D_s$ ) e umidade gravimétrica ( $U, g\ kg^{-1}$ ). Determinou-se também a porosidade total ( $P_t$ ), macroporosidade ( $M_a$ ) e microporosidade ( $M_i$ ) –  $\Psi_m$  de 6 kPa.

### 3.4 MESA DE TENSÃO

#### 3.4.1 Descrição do equipamento

Durante o mês de junho de 2021, foi realizada a construção da mesa de tensão com areia, de diâmetro menor que 106 micrômetros, similarmente ao realizado por Lima; Silva (2008), método escolhido com bom custo-benefício para a pesquisa e para determinação da retenção de água no solo em até  $-100\ hPa$  ( $-10\ kPa$ ). A mesa de tensão utiliza uma caixa de plástico rígido, translúcida, com tampa (35 cm de

largura, 25 cm de profundidade e 26 cm de altura), como recipiente para a construção da mesa de tensão com camada de areia. A caixa foi escolhida por ser de baixo custo, fácil vedação e observação do experimento (Lima; Silva, 2008). O sistema de drenagem de água foi realizado por meio de uma mangueira conectada a um kitassato.

A próxima seção apresenta o procedimento de montagem da mesa de areia. As especificações dos materiais estão na TABELA 4.

TABELA 4 – ESPECIFICAÇÕES DO MATERIAL UTILIZADO NA MONTAGEM DA MESA DE TENSÃO

<b>Materiais utilizados</b>	<b>Especificações</b>
Tubo de combustível	Borracha rígida; Diâmetro 6mm
Caixa de plástico	Largura: 35 cm; Profundidade: 25 cm; Altura: 26 cm
Tecido	Tipo <i>Voil</i>
Areias	Diâmetro < 106µm

### 3.4.2 Procedimento de montagem

No início da montagem da mesa de tensão, introduziu-se uma mangueira de 8 mm de diâmetro por meio de um orifício feito na caixa. O tubo funciona como um canal entre a mesa de areia e o reservatório de água. Perfuram-se, aleatoriamente, pequenos orifícios na parte da mangueira que ficará em contato com a areia, a fim de contribuir para a drenagem da água. Utiliza-se um tecido de *Voil*, fino, para envolver a parte dos orifícios evitando a entrada de areia, garantindo a drenagem. A mangueira foi distribuída uniformemente no fundo da caixa, conforme representado na FIGURA 3.

FIGURA 3 - MESA DE TENSÃO EM PROCESSO DE CONSTRUÇÃO: MANGUEIRA FIXADA ENVOLVIDA COM VOIL



FONTE: Imagem da autora (2022).

Um kitassato, graduado, foi acoplado ao tubo, garantindo a vedação para evitar vazamentos de água. Posteriormente, foi movido verticalmente a fim de obter a pressão de  $-6KPa$ .

A areia mais grosseira passou por uma peneira de  $106\mu m$  e foi lavada para retirar todas as impurezas e ambientá-la com água. Foram misturadas areias de diferentes granulometrias para compor a mesa.

Posteriormente, as areias foram misturadas com água, introduzindo essa mistura na caixa até obter 5 cm de massa de areia acima da mangueira. A mesa de tensão finalizada está exposta na FIGURA 4.

FIGURA 4. AMOSTRAS SOBRE A MESA DE TENSÃO CONSTRUÍDA.



FONTE: Imagem da autora (2022).

### 3.4.3 Ensaio da mesa de tensão

A mesa de tensão foi instalada em um ambiente com temperatura controlada para realização do experimento. Para o nivelamento da mesa, alinhou-se o ponto de drenagem do kitassato com a altura dos anéis volumétricos. Na sequência, posicionou-se a saída do kitassato 60 cm abaixo do nível da areia obtendo 6 kPa de pressão, iniciando o gotejamento.

Para evitar a evaporação das amostras, instalou-se um silicone na borda da caixa. O método consistiu inserir as amostras de solos, previamente saturadas com água e posteriormente com os efluentes industriais, em contato com o meio poroso (areia), e a pressão será controlada por meio do posicionamento do kitassato. Um nível de equilíbrio foi obtido a cada tensão aplicada no solo; em cada ponto, foi determinada a umidade gravimétrica do solo ( $U_g$ ) e o potencial mátrico, medidas utilizadas na curva de retenção de água do solo. Aplicou-se a tensão de 6kPa na mesa e nas amostras.

De acordo com o método apresentado por Teixeira; Behring (2017), após preparadas as amostras, foram distribuídas em uma bandeja com efluente, até obter a saturação da amostra por capilaridade, conforme Figura 5. Visualmente pode-se observar a saturação. Em seguida, foram pesadas as amostras saturadas com efluente (0 kPa de potencial). Dessa forma obteve-se a massa de solo saturada ( $M_{ssat}$ ). Doze amostras foram colocadas na mesa de tensão, demarcando os locais de cada prova. Comprimem-se suavemente as amostras, a fim de garantir o contato total entre a areia e o solo.

FIGURA 5. AMOSTRAS SATURANDO COM EFLUENTES INDUSTRIAIS.



FONTE: Imagem da autora (2022).

Em seguida, ajustou-se a altura do kitassato em 60 cm abaixo do nível da areia de acordo com o potencial desejado (6kPa), tensão que separa macro e microporos (Teixeira *et al.*, 2020), até obter o equilíbrio entre o potencial aplicado e a água retida na amostra.

FIGURA 6. ESQUEMA DA MESA DE TENSÃO NA TENSÃO DE 6KPA.



FONTE: Imagem da autora (2022).

Após equilíbrio, realizado pela ausência da saída de água por um período de 24 horas, ocorrendo após quatro dias na mesa, retiram-se os cilindros e pesam-se as provas (Teixaira; Behring, 2017), o que teve como resultado a massa de solo úmido ( $M_{su}$ ). Determinou-se então a umidade da amostra por gravimetria. Nesse caso, o equilíbrio com cada potencial aplicado às amostras é avaliado por pesagens sucessivas e pela observação do fim do escoamento. Essa avaliação pode ser feita sucessivamente, para diferentes potenciais, de forma gradativa (Teixaira; Behring, 2017). Ao final dos cinco ciclos com a mesa de tensão, a secagem das amostras foi realizada em estufa a 105°C, até peso constante (EMBRAPA, 1979), por 36 horas, e pesadas para a determinação da massa de solo seco a 105 °C ( $M_{ss}$ ). Após descarte da amostra seca, todos os anéis foram medidos com um paquímetro para obter o volume do anel e pesados.

### 3.5 DENSIDADE, MICROPOROSIDADE E MACROPOROSIDADE DO SOLO

Após as amostras submetidas a tensão de 6 kPa (60 cm), na mesa de tensão (Oliveira, 1968), e, posteriormente, pesadas e secas. Determinou-se a densidade do solo (EMBRAPA, 1997). Considerou-se como volume de microporos a diferença entre o peso da amostra após a retirada da mesa de tensão (capacidade de campo) e o peso seco, que dividido pelo volume do anel corresponde à microporosidade. A macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (EMBRAPA, 1997).

Utilizando as amostras indeformadas, determinou-se a densidade do solo ( $D_s$ ) pelo método do anel volumétrico, obtida pela razão entre o peso da amostra seca a 105°C e o volume do cilindro (EMBRAPA, 1979).

A densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada de acordo com a equação 1:

$$D_s = \frac{M_{ss}}{v} \quad (1)$$

A equação seguinte retirada do Manual de Métodos de Análise de Solo (César *et al.*; EMBRAPA, 2017) foi utilizada para calcular a porosidade total ( $P_t$ ):

$$P_t = \frac{M_{ssat} - M_{ss}}{v} \quad (2)$$

Sendo  $v$  o volume da amostra de solo.

A umidade na tensão de 6kPa será determinada pela fórmula 3:

$$U_{g6} = \frac{M_{su} - M_{ss}}{M_{ss}} \quad (3)$$

Sendo  $M_{su}$  a massa de água na tensão aplicada e  $M_{ss}$  a massa de solo seco em estufa (Lima; Silva, 2008).

Para determinação da microporosidade ( $Mi$ ), aplicou-se a equação 4:

$$Mi = \frac{M_{su} - M_{ss}}{v} \quad (4)$$

Sendo a porosidade total a soma de micro e macroporos, a macroporosidade ( $Ma$ ) se obtém com a equação 5:

$$Ma = Pt - Mi \quad (5)$$

### 3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Replicou-se aos dados o modelo estatístico de análise de variância (ANOVA), de experimento em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (5x4), com quatro repetições. As pressuposições de normalidade dos resíduos e homoscedasticidade foram verificadas por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett. Quando necessário, a potência ótima de Box-Cox foi utilizada para a transformação dos dados. Após verificadas as pressuposições, o teste F foi aplicado. Em casos de interações significativas, foram realizadas análises de desdobramento. O teste Tukey ( $p < 0,05$ ) foi aplicado para comparações múltiplas entre os três efluentes para os cinco ciclos. Complementarmente aos casos de F significativo, foram realizadas análises de correlações lineares de Pearson. Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software R, versão 4.1.1 (R CORE TEAM, 2021). Os dados oriundos dos diferentes ciclos foram submetidos à análise estatística a 5 % de probabilidade.

Segundo Pimentel-Gomes (1985), os coeficientes de variação obtidos nos ensaios agrícolas, é classificado da seguinte forma: Baixos: CV < 10%, Médios: CV entre 10 e 20%, Altos: CV entre 20 e 30%; Muito Altos: CV > 30%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Ferreira (1991), CV é uma medida de variabilidade que mede a relação entre o desvio padrão (s) e a média aritmética em porcentagem, com a vantagem de ser um valor adimensional independente da unidade de medida utilizada.

Os maiores percentuais de CV foram observados para macroporos, considerados muito altos, e os menores percentuais de CV para porosidade total e microporos, considerados baixos. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R, calcula-se o quadrado médio ( $QM$ ) e a probabilidade ( $p$ ) para cada atributo. O script do R é escrito de forma a fornecer o coeficiente de variação ( $CV$ ) do conjunto de dados para cada parâmetro.

O teste de Tukey ( $p < 0.05$ ) é utilizado para avaliar se há diferença significativa entre as médias de duas amostras. Na TABELA 5 é possível verificar que a probabilidade ( $p$ ) para densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, sendo  $p$  igual a 0,200, 0,534 e 0,849, respectivamente, não apresentaram diferenças significativas no comportamento do solo com os diferentes efluentes, para o primeiro ciclo de U-S.

TABELA 5 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE NO CICLO 1

Fontes de variação	Graus de liberdade	Porosidade total		Macroporosidade		Microporosidade	
		QM	$p$	QM	$p$	QM	$P$
Efluentes	2	5,9E-03	0,200	1,1E-03	0,534	0,00196	0,849
Resíduo	34	6,6E-04	-	2,3E-03	-	0,0012	-
CV (%)		4,31		33,26		7,59	
W		0,010	-	0,131	-	0,385	-
B <sub>0</sub>		-	-	-	-	-	-

QM = quadrado médio;  $p$  = probabilidade; CV = coeficiente de variação; W = resultado do teste de Shapiro-Wilk; B<sub>0</sub> = resultado do teste de Bartlett;

Na TABELA 6 é possível verificar que a probabilidade ( $p$ ) para densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, sendo  $p$  igual a 0,439, 0,678 e 0,819, respectivamente, não apresentaram diferenças significativas no comportamento do solo com os diferentes efluentes, para o segundo ciclo de U-S.

TABELA 6 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE NO CICLO 2

Fontes de variação	Graus de liberdade	Porosidade total		Macroporosidade		Microporosidade	
		QM	$p$	QM	$p$	QM	$P$
Efluentes	2	4,4E-03	0,439	1,3E-03	0,678	0,00105	0,819
Resíduo	34	8,2E-04	-	2,6E-03	-	0,00125	-
CV (%)		4,81		36,79		7,77	
W		0,900	0,003	0,786	6,9E-06	0,900	0,003
B <sub>0</sub>		1,647	0,439	12,972	2,1E-03	1,647	0,439

QM = quadrado médio;  $p$  = probabilidade; CV = coeficiente de variação; W = resultado do teste de Shapiro-Wilk; B<sub>0</sub> = resultado do teste de Bartlett;

Na TABELA 7 é possível verificar que a probabilidade (p) para densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, sendo p igual a 0,340, 0,534 e 0,869, respectivamente, não apresentaram diferenças significativas no comportamento do solo com os diferentes efluentes, para o terceiro ciclo de U-S.

TABELA 7 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE NO CICLO 3

Fontes de variação	Graus de liberdade	Porosidade total		Macroporosidade		Microporosidade	
		QM	p	QM	p	QM	P
Efluentes	2	5,8E-03	0,340	1,6E-03	0,534	1,6E-03	0,869
Resíduo	34	5,9E-04	-	2,2E-03	-	1,3E-03	-
CV (%)		4,1		33,88		7,84	
W		0,940	0,045	-	-	0,940	0,045
B <sub>0</sub>		2,156	0,340	-	-	2,156	0,340

QM = quadrado médio; p = probabilidade; CV = coeficiente de variação; W = resultado do teste de Shapiro-Wilk; B<sub>0</sub> = resultado do teste de Bartlett;

Na TABELA 8 é possível verificar que a probabilidade (p) para densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, sendo p igual a 0,119, 0,906 e 0,802, respectivamente, não apresentaram diferenças significativas no comportamento do solo com os diferentes efluentes, para o quarto ciclo de U-S.

TABELA 8 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE NO CICLO 4

Fontes de variação	Graus de liberdade	Porosidade total		Macroporosidade		Microporosidade	
		QM	p	QM	P	QM	P
Efluentes	2	2,2E-03	0,119	9,7E-04	0,906	4,7E-04	0,802
Resíduo	34	6,2E-04	-	2,4E-03	-	1,4E-03	-
CV (%)		4,15		35,22		8,01	
W		0,927	0,018	0,723	-	0,927	0,018
B <sub>0</sub>		4,260	0,119	14,109	-	4,260	0,119

QM = quadrado médio; p = probabilidade; CV = coeficiente de variação; W = resultado do teste de Shapiro-Wilk; B<sub>0</sub> = resultado do teste de Bartlett;

Na TABELA 9 é verifica-se que a probabilidade (p) para densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, sendo p igual a 0,132, 0,800 e 0,805, respectivamente, não apresentaram diferenças significativas no comportamento do solo com os diferentes efluentes, para o quinto ciclo de U-S.

TABELA 9 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE NO CICLO 5

Fontes de variação	Graus de liberdade	Porosidade total		Macroporosidade		Microporosidade	
		QM	p	QM	P	QM	P
Efluentes	2	4,25E-03	0,132	3,08E-03	0,800	7,36E-04	0,805
Resíduo	34	5,40E-04	---	2,21E-03	---	1,39E-03	
CV (%)			3,92		34,55		8,17
W		0,050	0,004	0,792	0,000	0,905	0,004
B <sub>0</sub>		4,051	0,132	13,718	0,001	4,051	0,132

QM = quadrado médio; p = probabilidade; CV = coeficiente de variação; W = resultado do teste de Shapiro-Wilk; B<sub>0</sub> = resultado do teste de Bartlett;

De acordo com os dados obtidos, não ocorreu variação estatística da densidade do solo, macroporosidade e microporosidade das amostras, ou seja, não há diferença significativa entre as médias, demonstrando semelhança nos comportamentos dos atributos do solo e dos diferentes efluentes aplicados no solo, exceto para a porosidade total.

Segundo a TABELA 10, para o atributo de densidade do solo, os valores médios não obtiveram variação estatística, conforme desejado, pois o solo amostrado foi o mesmo. Para a porosidade total houve diferença estatística para o EI em comparação com os outros dois em todos os ciclos, exceto para o Ciclo 4 onde a diferença não foi significativa, conforme TABELA 11.

Os valores médios da densidade do solo, expressos na TABELA 10, após aplicação dos efluentes, foram divergentes. Após aplicação de cinco ciclos de U-S com o EI a D<sub>s</sub> observada foi maior em relação aos outros efluentes.

TABELA 10 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DENSIDADE DO SOLO

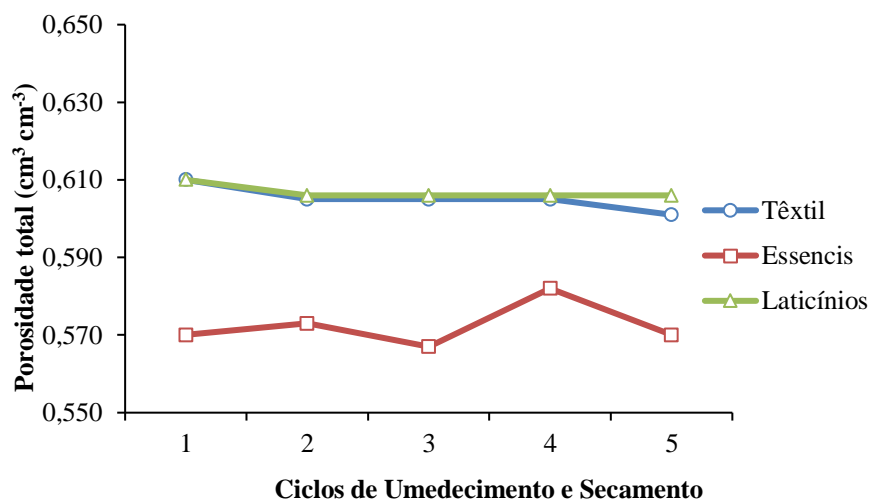
EFLUENTE	D <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
EFLUENTES INDUSTRIAIS	1,031±0,07ns
TEXTIL	0,987±0,09ns
LATICÍNIOS	0,989±0,09ns

Após 5 Ciclos de U-S, os resultados expressos na TABELA 11 demonstram que a PT reduziu conforme aplicação dos efluentes ET e EL, e, em relação ao EI, o comportamento da PT foi divergente. O EI aumentou a PT após ciclo 1, aumentando no Ciclo 2 e voltando a reduzir para o próximo ciclo, apresentando uma variância nos resultados. E, conforme resultados, a PT após 5 ciclos de U-S de EI não teve alterações. A PT para o ET teve uma redução mais expressiva em relação ao EL. Esses comportamentos podem ser observados no GRÁFICO 1.

TABELA 11 - MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DA PROPRIEDADE FÍSICA DO SOLO POROSIDADE TOTAL (PT)

Efluente	Têxtil	Efluente de Aterro Industrial	Laticínios
Atributo	Porosidade Total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )		
Ciclo 1	0,610±0,02 <sup>a</sup>	0,570±0,03 <sup>b</sup>	0,610±0,02 <sup>a</sup>
Ciclo 2	0,605±0,03 <sup>a</sup>	0,573±0,03 <sup>b</sup>	0,606±0,02 <sup>a</sup>
Ciclo 3	0,605±0,02 <sup>a</sup>	0,567±0,03 <sup>b</sup>	0,606±0,02 <sup>a</sup>
Ciclo 4	0,605±0,02 <sup>ns</sup>	0,582±0,03 <sup>ns</sup>	0,606±0,02 <sup>ns</sup>
Ciclo 5	0,601±0,02 <sup>a</sup>	0,570±0,03 <sup>b</sup>	0,606±0,02 <sup>a</sup>

ns = não significativo

GRÁFICO 1 – RESULTADOS PARA POROSIDADE TOTAL ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ) DURANTE OS CINCO CICLOS PARA OS EFLUENTES TÊXTIL, DE LATICÍNIOS E DE ATERRO INDUSTRIAL.

Conforme resultados demonstrados na TABELA 12, não ocorreu diferença estatística significativa entre os resultados de macroporosidade, em todos os ciclos para os diferentes efluentes.

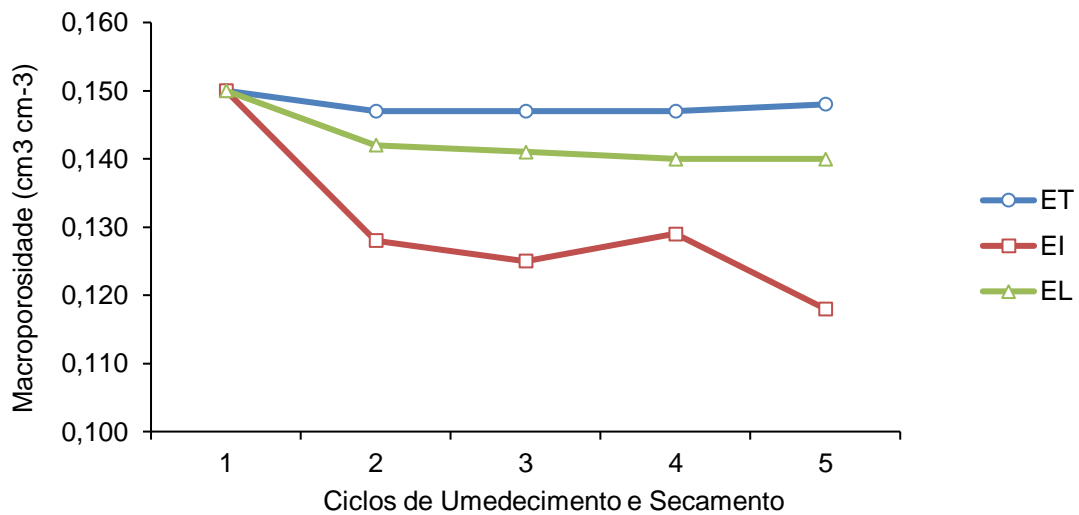
Após 5 Ciclos de U-S, os resultados expressos na TABELA 12 TABELA 11 demonstram que a Ma aumentou conforme aplicação do ET, e, em relação ao EI e ao EL, o comportamento da Ma foi divergente. O EI e EL reduziram a Ma após 5 ciclos de U-S. A Ma para o EI teve uma redução mais expressiva em relação ao EL, apresentados no GRÁFICO 2.

TABELA 12 - MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DA PROPRIEDADE FÍSICA DO SOLO MACROPOROSIDADE (Ma)

Efluente	Têxtil	Efluente de Aterro Industrial	Laticínios
Atributo	Macroporosidade (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )		
Ciclo 1	0,147±0,04ns	0,150±0,04ns	0,150±0,05ns
Ciclo 2	0,147±0,05ns	0,128±0,04ns	0,142±0,05ns
Ciclo 3	0,147±0,05ns	0,125±0,04ns	0,141±0,05ns
Ciclo 4	0,147±0,04ns	0,129±0,05ns	0,140±0,05ns
Ciclo 5	0,148±0,04ns	0,118±0,04ns	0,140±0,05ns

ns = não significativo

GRÁFICO 2 – RESULTADOS MÉDIOS DA MACROPOROSIDADE DURANTE OS CINCO CICLOS PARA OS EFLUENTES TÊXTEL, DE LATICÍNIOS E DE ATERRO INDUSTRIAL.



A TABELA 13 apresenta os resultados para a microporosidade, não ocorrendo diferença estatística significativa entre os valores médios, em todos os ciclos para os diferentes efluentes.

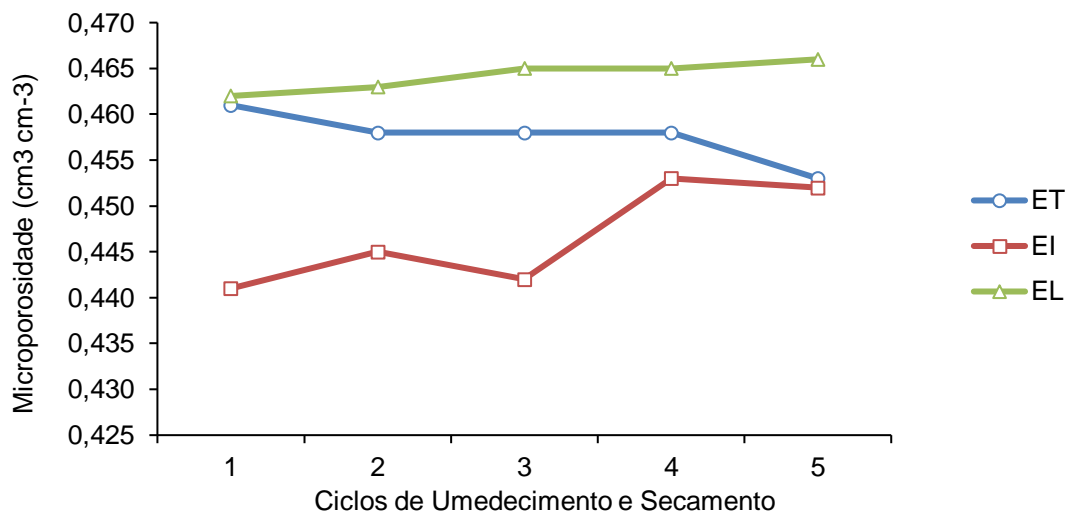
Após 5 Ciclos de U-S, os resultados expressos na TABELA 13 TABELA 11 demonstram que a Mi aumentou conforme aplicação do EI e EL, e, em relação ao ET, o comportamento da Mi foi divergente, conforme apresentado no GRÁFICO 3. O ET reduziu a Mi após 5 ciclos de U-S. A Mi para o EI teve um aumento mais expressivo em relação ao EL.

TABELA 13 - MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DA PROPRIEDADE FÍSICA DO SOLO MICROPOROSIDADE (Mi)

Efluente	Têxtil	Efluente de Aterro Industrial	Laticínios
Atributo	Microporosidade (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )		
Ciclo 1	0,461±0,03ns	0,441±0,04ns	0,462±0,03ns
Ciclo 2	0,458±0,03ns	0,445±0,04ns	0,463±0,03ns
Ciclo 3	0,458±0,03ns	0,442±0,04ns	0,465±0,03ns
Ciclo 4	0,458±0,03ns	0,453±0,04ns	0,465±0,03ns
Ciclo 5	0,453±0,03ns	0,452±0,04ns	0,466±0,03ns

ns = não significativo

GRÁFICO 3 – RESULTADOS MÉDIOS PARA MICROPOROSIDADE DURANTE OS CINCO CICLOS PARA OS EFLUENTES TÊXTEL, DE LATICÍNIOS E DE ATERRO INDUSTRIAL.



## 5 CONCLUSÃO

Após ciclos de U-S, o ET modificou a distribuição do tamanho dos poros do solo, onde a PT reduziu, e, conseqüentemente, a microporosidade e a macroporosidade do solo reduziram. Já o EI modificou a distribuição do tamanho dos poros do solo, reduzindo a microporosidade (0,2–50 µm) e aumentando a macroporosidade (diâmetro dos poros maior que 50 µm), não ocorrendo grandes alterações na porosidade total. Para o EL observou-se que, à medida que se aplica os efluentes no solo, ocorreu a redução da macroporosidade e, para microporosidade, houve um aumento nos valores médios.

Como conseqüência das mudanças na distribuição dos poros do solo, a redução da porosidade pode interferir na permeabilidade do solo, na disponibilidade

de nutrientes e água, na diminuição da infiltração da água, podendo ocasionar em escoamento superficial e erosão do solo.

A suave variação de porosidade total, macro e microporosidade de vazios foi explicada pela variação na distribuição do tamanho dos poros dos solos após aplicação dos diferentes efluentes industriais tratados. Os efluentes estudados constituem um sistema delicado, no qual a disposição de quaisquer tipos de efluentes no solo requer o monitoramento constante de suas propriedades físicas e químicas.

Sugere-se, para trabalhos futuros, a análise do acúmulo de elementos no solo, além de realizar análises físico-químicas de cada efluente e, também, condicionar as amostras a um maior número de ciclos de umedecimento e secamento, simulando um longo período de disposição do efluente no solo.

## REFERÊNCIAS

- Auler, A. C. (2018). **Efeitos de corretivos da acidez do solo associados ao gesso agrícola sobre os atributos físicos e químicos do solo**. 2018. 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa. 2018.
- Arena, A. La porosidad de los terrones de suelo. **Çom. Nac. de Cultura**, Buenos Aires. 1945.
- BEN-HUR, M.; STERN, R.; VAN DER MERWE, A.J. Slope and gypsum effects on infiltration and erodibility of dispersive and nondispersive soils. **Soil Science Society America Journal, Madison**, 56:1571-1576, 1992.
- BRASIL. **Resolução N° 420, de 28 de dezembro de 2009**. Diário oficial da união, v.2013, p. 81–84, 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620%0Ahttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25246403%0Ahttp://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4249520>>.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 5. ed. São Paulo: F. Bastos, 1979. 647 p.
- CÉSAR, P.; GUILHERME, T.; DONAGEMMA, K.; et al. **Revista e ampliada**.
- Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N° 430, de 13 de maio de 2011**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2011.
- Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N° 481, de 03 de outubro de 2017**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2017.
- Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução N° 498, de 19 de agosto de 2020**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2020.
- CHARLET, L. & SPOSITO, G. Bivalent ion adsorption by an Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:691-595. 1989.
- DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 19, p. 302–310. 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. Rio de Janeiro, 1979.
- FARAHANI, E.; EMAMI, H.; KELLER, T. Impact of monovalent cations on soil structure. Part II. Results of two Swiss soils. **International Agrophysics**, v. 32, n. 1, p. 69–80, 2018.

FERREIRA PV. Estatística experimental aplicada à agronomia. **EDUFAL**, p 437, Maceió, 1991.

Legislação Estadual - Rio Grande do Sul. **Portaria FEPAM Nº 68 DE 08/07/2019**. 2019.

FEI, Y.; SHE, D.; GAO, L.; XIN, P. Micro-CT assessment on the soil structure and hydraulic characteristics of saline/sodic soils subjected to short-term amendment. **Soil and Tillage Research**, v. 193, n. September 2018, p. 59–70, 2019.

HARUVY, N. Agricultural reuse of wastewater: Nation-wide cost-benefit analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 66, n. 2, p. 113–119, 1997.

JOÃO CARLOS MEDEIROS. **Resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na correção da acidez de um cambissolo húmico álico**, Dissertação, Universidade Do Estado De Santa Catarina, 2008.

KLEIN, V.A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 1998. 150f. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.

LIMA, H. V. DE; SILVA, Á. P. DA. Mesa de tensão com areia: procedimentos para montagem e validação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2209–2214, 2008.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advison Soil Science**, [S.l.], v. 1, p.277-294, 1985.

LIMA, H. V. DE; SILVA, Á. P. DA. Mesa de tensão com areia: procedimentos para montagem e validação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2209–2214, 2008.

MELLISSA A. S. DA SILVA; NORI P. GRIEBELER; LINO C. BORGES. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 108–114, 2007.

OLIVEIRA, L.B. Determinação da macro e microporosidade pela “mesa de tensão” em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.3, p.197- 200, 1968.

PIMENTEL-GOMES, **Curso de Estatística Experimental**, 1985. Piracicaba, SP. ESALQ/USP, 1985.

RAMIRES, F. A.; DURANTE, M.; MAIORANO, G.; et al. Industrial scale bio-detoxification of raw olive mill wastewaters by the use of selected microbial yeast and bacterial strains to obtain a new source for fertigation. **Journal of Environmental Management**, v. 265, n. May, p. 110574, 2020.

REZENDE, A. **Fertirrigação do eucalipto com efluente tratado de fábrica de celulose Kraft branqueada**, p. 174, 2003.

RONDON, U. F. D. E.; AGR, N.; CORSO, G.; AGR, D. E. E. **Construção de uma mesa de tensão utilizando placas porosas para determinação da retenção da água no solo**, Universidade Federal de Rondonópolis Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas Engenharia Agrícola e Ambiental, 2020.

SANTOS, C. K. DOS; SANTANA, F. S.; RAMOS, F. S. DE M.; FACCIOLI, G. G.; GOMES FILHO, R. R. Impacto do uso de efluentes nas características do solo cultivado com quiabo (*Abelmoschus esculentus* L). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 4, p. 2776–2783, 2018.

DOS SANTOS SILVA, A. L.; DOS SANTOS, E. C. L.; LÓPEZ, A. M. Q. Sugar-alcohol industry: quality of its biotreated washing water for reuse in fertigation. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 10, p. 10275–10285, 2020.

TAGHIZADEHGHASAB, A.; SAFADOUST, A.; MOSADDEGHI, M. R. Effects of salinity and sodicity of water on friability of two texturally-different soils at different matric potentials. **Soil and Tillage Research**, v. 209, n. March 2020, p. 104950, 2021.

TEIXEIRA, W. G.; BEHRING, S. B. Retenção de água no solo pelos métodos da mesa de tensão e da câmara de Richards. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, p. 34–46, 2017.

TEIXEIRA, P. T. DE R.; SOUZA, J. A. R. DE; MOREIRA, D. A.; et al. Análise do índice de saturação por sódio em latossolo vermelho fertirrigado com efluente de laticínios. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 5, p. 83–89, 2020.

**ANEXO 1 – LISTA DE VALORES ORIENTADOS PARA SOLOS E ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS**

LISTA DE VALORES ORIENTADORES PARA SOLOS E PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS							
Substâncias	CAS n°	Solo (mg.kg-1 de peso seco) (1)					Água Subterrânea (µg.L-1)
		Referência de qualidade	Prevenção	Investigação			Investigação
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
<b>Inorgânicos</b>							
Alumínio	7429-90-5	E	-	-	-	-	3.500**
Antimônio	7440-36-0	E	2	5	10	25	5*
Arsênio	7440-38-2	E	15	35	55	150	10*
Bário	7440-39-3	E	150	300	500	750	700*
Boro	7440-42-8	E	-	-	-	-	500
Cádmio	7440-48-4	E	1,3	3	8	20	5*
Chumbo	7440-43-9	E	72	180	300	900	10*
Cobalto	7439-92-1	E	25	35	65	90	70
Cobre	7440-50-8	E	60	200	400	600	2.000*
Cromo	7440-47-3	E	75	150	300	400	50*
Ferro	7439-89-6	E	-	-	-	-	2.450**
Manganês	7439-96-5	E	-	-	-	-	400**
Mercúrio	7439-97-6	E	0,5	12	36	70	1*
Molibdênio	7439-98-7	E	30	50	100	120	70
Níquel	7440-02-0	E	30	70	100	130	20
Nitrato (como N)	797-55-08	E	-	-	-	-	10.000*
Prata	7440-22-4	E	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	E	5	-	-	-	10*
Vanádio	7440-62-2	E	-	-	-	1000	-
Zinco	7440-66-6	E	300	450	1.000	2.000	1.050**
<b>Hidrocarbonetos aromáticos voláteis</b>							
Benzeno	71-43-2	na	0,03	0,06	0,08	0,15	5*
Estireno	100-42-5	na	0,2	15	35	80	20*
Etilbenzeno	100-41-4	na	6,2	35	40	95	300**
Tolueno	108-88-3	na	0,14	30	30	75	700**
Xilenos	1330-20-7	na	0,13	25	30	70	500**
<b>Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos</b>							
Antraceno	07/12/20	na	0,039	-	-	-	-
Benzo(a)antraceno	56-55-3	na	0,025	9	20	65	1,75
Benzo(k)fluoranteno	207-06-9	na	0,38	-	-	-	-
Benzo(g,h,i)perileno	191-24-2	na	0,57	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	50-32-8	na	0,052	0,4	1,5	3,5	0,7*
Criseno	218-01-9	na	8,1	-	-	-	-
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	na	0,08	0,15	0,6	1,3	0,18
Fenantreno	85-01-8	na	3,3	15	40	95	140
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	na	0,031	2	25	130	0,17
Naftaleno	91-20-3	na	0,12	30	60	90	140

Benzenos clorados							
Clorobenzeno (Mono)	108-90-7	na	0,41	40	45	120	700**
1,2-Diclorobenzeno	95-50-1	na	0,73	150	200	400	1000
1,3-Diclorobenzeno	541-73-1	na	0,39	-	-	-	-
1,4-Diclorobenzeno	106-46-7	na	0,39	50	70	150	300
1,2,3-Triclorobenzeno	87-61-6	na	0,01	5	15	35	(a)*
1,2,4-Triclorobenzeno	120-82-1	na	0,011	7	20	40	(a)*
1,3,5-Triclorobenzeno	108-70-3	na	0,5	-	-	-	(a)*
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	634-66-2	na	0,16	-	-	-	-
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	634-90-2	na	0,01	-	-	-	-
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	95-94-3	na	0,01	-	-	-	-
Hexaclorobenzeno	118-74-1	na	0,003(3)	0,005	0,1	1	1*
Etenos clorados							
Substâncias	CAS n°	Referência de qualidade	Solo (mg.kg-1 de peso seco) (1)				Água Subterrânea (µg.L-1)
			Prevenção	Investigação			Investigação
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
1,1-Dicloroetano	75-34-2	na	-	8,5	20	25	280
1,2-Dicloroetano	107-06-2	na	0,075	0,15	0,25	0,50	10*
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	na	-	11	11	25	280
Etenos clorados							
Cloreto de vinila	75-01-4	na	0,003	0,005	0,003	0,008	5*
1,1-Dicloroetano	75-35-4	na	-	5	3	8	30*
1,2-Dicloroetano - cis	156-59-2	na	-	1,5	2,5	4	(b)
1,2-Dicloroetano - trans	156-60-5	na	-	4	8	11	(b)
Tricloroetano – TCE	79-01-6	na	0,0078	7	7	22	70*
Tetracloroetano – PCE	127-18-4	na	0,054	4	5	13	40*
Metanos clorados							
Cloreto de Metileno	75-09-2	na	0,018	4,5	9	15	20*
Clorofórmio	67-66-3	na	1,75	3,5	5	8,5	200
Tetracloroeto de carbono	56-23-5	na	0,17	0,5	0,7	1,3	2*
Fenóis clorados							
2-Clorofenol (o)	95-57-8	na	0,055	0,5	1,5	2	10,5
2,4-Diclorofenol	120-83-2	na	0,031	1,5	4	6	10,5
3,4-Diclorofenol	95-77-2	na	0,051	1	3	6	10,5
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	na	0,11	-	-	-	10,5
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	na	1,5	3	10	20	200*
2,3,4,5-Tetraclorofenol	4901-51-3	na	0,092	7	25	50	10,5
2,3,4,6-Tetraclorofenol	58-90-2	na	0,011	1	3,5	7,5	10,5
Pentaclorofenol (PCP)	58-90-2	na	0,16	0,35	1,3	3	9*
Fenóis não clorados							
Cresóis	-	na	0,16	6	14	19	175
Fenol	108-95-2	na	0,20	5	10	15	140
Ésteres ftálicos							
Dietilxil ftalato (DEHP)	117-81-7	na	0,6	1,2	4	10	8

Dimetil ftalato	131-11-3	na	0,25	0,5	1,6	3	14
Di-n-butil ftalato	84-74-2	na	0,7	-	-	-	-
Pesticidas organoclorados							
Aldrin	309-00-2	na	0,015	0,003	0,01	0,03	(d)*
Dieldrin	60-57-1	na	0,043	0,2	0,6	1,3	(d)*
Endrin	72-20-8	na	0,001	0,4	1,5	2,5	0,6*
DDT	50-29-3	na	0,010	0,55	2	5	(c)*
DDD	72-54-8	na	0,013	0,8	3	7	(c)*
DDE	72-55-9	na	0,021	0,3	1	3	(c)*
HCH beta	319-85-7	na	0,011	0,03	0,1	5	0,07
HCH – gama (Lindano)	58-89-9	na	0,001	0,02	0,07	1,5	2*
PCBs							
TOTAL	-	na	0,0003 (3)	0,01	0,03	0,12	3,5

(1) – Para comparação com valores orientadores, utilizar as recomendações dos métodos 3050b (exceto para o elemento mercúrio) ou 3051 da USEPA–SW–846 ou outro procedimento equivalente, para digestão ácida de amostras de solos na determinação das substâncias inorgânicas por técnicas espectrométricas.

E - a ser definido pelo Estado.

na - não se aplica para substâncias orgânicas.

(a) somatória para triclorobenzenos = 20 µg.L-1.

(b) somatória para 1,2 dicloroetenos; = 50 µg.L-1.

(c) somatória para DDT-DDD-DDE = 2 µg.L-1.

(d) somatória para Aldrin e Dieldrin = 0,03 µg.L-1.

\* Padrões de potabilidade de substâncias químicas que representam risco à saúde definidos na Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde (Tabela 3).

\*\* Valores calculados com base em risco à saúde humana, de acordo com o escopo desta Resolução. Diferem dos padrões de aceitação para consumo humano definidos na Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde (Tabela 5) e dos valores máximos permitidos para consumo humano definidos no Anexo I da Resolução CONAMA nº 396/2008.