

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

FERNANDA FELTRIM

**RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE UM PLÁSTICO MOLE EM CONTATO
COM LIXIVIADO DE RSU AO LONGO DO TEMPO**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2016

FERNANDA FELTRIM

**RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE UM PLÁSTICO MOLE EM CONTATO
COM LIXIVIADO DE RSU AO LONGO DO TEMPO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de concentração: Estruturas e Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Luís dos Santos Izzo

Coorientadora: Dra. Juliana Lundgren Rose

CURITIBA
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

F328r Feltrim, Fernanda
2016 Resistência à tração de um plástico mole em contato
com lixiviado de RSU ao longo do tempo / Fernanda
Feltrim.-- 2016.
145 f.: il.; 30 cm

Texto em português, com resumo em inglês.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil. Área de concentração: Estruturas e Geotecnia,
Curitiba, 2016.
Bibliografia : 109-115

1. Engenharia civil - Dissertações. 2. Sacolas plásticas.
3. Resíduos sólidos urbanos. 4. Aterro sanitário.
5. Lixiviação. 6. Fibras. I. Izzo, Ronaldo Luis dos
Santos. II. Rose, Juliana Lundgren. III. Universidade
Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação
em Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: Ed. 22 -- 624



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação – Câmpus Curitiba
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO N.º 082

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE UM PLÁSTICO MOLE EM CONTATO COM LIXIVIADO DE RSU AO LONGO DO TEMPO

POR

FERNANDA FELTRIM

Esta dissertação foi apresentada às 14h00min do dia 19 de fevereiro de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**, área de Construção Civil, linha de pesquisa de Estruturas e Geotecnia, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTPR. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____.

(aprovado / reprovado)

Prof. Dr. Ronaldo Luis dos Santos Izzo
(Orientador - UTPR)

Profª. Drª. Juliana Lundgren Rose
(UTPR)

Prof. Dr. André Nagalli
(UTPR)

Profª. Drª. Maria Claudia Barbosa
(UFRJ)

Visto da Coordenação:

Prof. Dr. Ronaldo Luis dos Santos Izzo
Coordenador do PPGEC

Avenida Deputado Heitor Alencar Furtado, 4900
Curitiba/PR - Sede Ecoville CEP 81280-340
Fone: (41) 3279-4578
<http://www.ppgec.dacoc.ct.utfpr.edu.br>

*A DEUS.
Aos meus pais Altamiro e Doracy Feltrim.
Aos meus irmãos Anderson Luiz e Rafael Luiz.
A meu namorado André B. Machado.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

A DEUS por me conceder o dom da vida e por me agradecer com tantas bênçãos.

À minha mãe Doracy, sinônimo de amor e dedicação, agradeço por nunca ter me deixado desistir dos meus objetivos, sem seu incentivo muitos sonhos não teriam se concretizado. Ao meu pai Altamiro, por ser exemplo de homem, obrigado por todos os ensinamentos de vida que me deu. Amo vocês.

Aos meus irmãos Anderson e Rafael, pelo cuidado, incentivo e apoio.

Ao meu namorado André, pelos ensinamentos, compreensão, apoio, incentivo e paciência; agradeço a Deus por ter você ao meu lado.

Ao meu orientador professor Ronaldo L. S. Izzo que acreditou em mim desde o princípio, obrigado por ter me concedido a oportunidade de realizar meu sonho. Agradeço por todo ensinamento e por ter conduzido e orientado este trabalho da melhor forma possível.

À professora Juliana Lundgren Rose que sempre esteve ao meu lado, sanando todas as dúvidas e me orientando com muita sabedoria e ânimo, obrigado pelas conversas, conselhos e risadas, você é uma pessoa iluminada por Deus.

À minha tia Delires por ter me acolhido e me tratado como filha durante minha estada em Curitiba, obrigada por tudo. Ao Carlos, João e a Karla que também me acolheram e dividiram seu espaço comigo.

Agradeço a Eloi por ter me acolhido em sua família.

Aos alunos de iniciação científica Wagner e Alexandre, meu agradecimento especial, por dedicarem seu tempo e esforço na realização deste trabalho.

À professora Sheila Oro pelas orientações sobre a estatística do trabalho.

Às minhas colegas de “salinha” Eloise, Aline, Fernanda, Viviane e Danieli, obrigado pelas risadas, conversas e companhia.

Aos colegas do Laboratório de Saneamento, em especial a Ellen, Débora, Daiane, Aldria, Felipe, Jessica e André, obrigado pelos ensinamentos e auxílios.

Agradeço a todos os professores do PPGEC pelos conhecimentos transmitidos, sempre com muita dedicação e paciência. Em especial a professora Karina por ter me auxiliado durante meu estágio de docência e minha estada no Laboratório de Saneamento e também ao professor Flávio o qual também me auxiliou nas atividades laboratoriais.

Agradeço à Silvana por ter intermediado a coleta do lixo e pelo fornecimento de dados importantes para a pesquisa.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que este sonho se tornasse realidade. MEU MUITO OBRIGADO!

“A lata de lixo é, na verdade, o resumo da vida diurna de uma família. É ela quem diz nas espinhas de peixe e nas cascas de ovos os pratos que houve à mesa. É ela quem informa se lá dentro da sala de jantar se toma vinho ou cerveja, água mineral ou água de torneira. É ela que denuncia, com os pedaços de jornal, as tendências políticas ou sociais do dono da casa, e, com as caixas vazias de remédio que toma a saúde dos moradores do prédio. Cada lata de lixo é, em suma a crônica doméstica de uma família, deixada à noite na porta da rua. ”

Humberto de Campos Veras (1934).

RESUMO

FELTRIM, Fernanda. Resistência à tração de um plástico mole em contato com lixiviado de RSU ao longo do tempo. 2016. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

A produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) aumenta a cada dia em razão da associação de uma série de fatores, tais como crescimento da população, aumento do poder aquisitivo, facilidade de acesso aos bens de consumo, etc. Em consequência, o gerenciamento e a disposição final tornaram-se um grande problema a ser encarado onde, atualmente, um dos principais meios de destinação final dos RSU é o aterro sanitário. Otimizar sua vida útil devido à ausência de terrenos adequados para este fim, principalmente em grandes centros urbanos, e exigências mais rígidas de órgãos controladores e reguladores, tornou-se um dos principais focos dos gestores tanto municipais quanto estaduais. Uma das formas de melhorar o aproveitamento das áreas de disposição de RSU é o aumento da altura do aterro, porém, se não for realizado de forma correta pode ocasionar danos significativos para o meio ambiente e para a sociedade. A presença de materiais com propriedades semelhantes às fibras existentes na massa de resíduos sólidos, como plásticos e têxteis, promovem um acréscimo na resistência ao cisalhamento da massa de RSU depositada em aterros, porém, esses materiais vão sofrendo decomposição e alterando suas propriedades e, conseqüentemente, podendo ocasionar mudanças na resistência ao cisalhamento ao longo do tempo. Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a influência do lixiviado na resistência à força de tração do plástico mole e como objetivos específicos avaliar a influência largura, distância entre as ancoragens e taxa de carregamento, nas trações resultantes; verificar se há variação do pH, demanda química de oxigênio (DQO), alcalinidade, ácidos voláteis, nitrogênio amoniacal e fósforo total presentes no lixiviado, ao longo do tempo e avaliar a estrutura e componentes do plástico mole com e sem imersão no lixiviado. Foram utilizadas sacolas plásticas de supermercado, cortadas em tiras de 0,5 e 1,0 cm de largura, estas ficaram em contato com o lixiviado coletado em um aterro sanitário da região metropolitana de Curitiba-PR, e em seguida foram submetidas aos ensaios de força de tração, a cada quinze dias, variando a distância entre as ancoragens (0 cm, 7 cm e 21 cm) e a taxa de carregamento de ensaio ($1 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ e $4 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$). O estudo permitiu verificar que os ensaios realizados com largura de 1 cm resultaram em força de tração superior àquelas realizadas com largura de 0,5 cm. A distância entre as ancoragens e taxa de carregamento de ensaio interferem significativamente nos valores de força de tração obtidos, sendo que ensaios realizados com taxa de carregamento de $4 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ resultaram em força de tração superior. Quando se leva em consideração o tempo de contato, não foi possível chegar a uma conclusão definitiva, pois o tempo de contato foi relativamente pequeno. Com a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS) foi possível verificar que há deposição de sólidos nas tiras plásticas após imersão no lixiviado e que há deposição de diferentes componentes químicos nas tiras plásticas como o alumínio, por exemplo.

Palavras-chave: Sacolas Plásticas. Resíduos Sólidos Urbanos. Aterro Sanitário. Lixiviado. Efeito Fibra.

ABSTRACT

FELTRIM, Fernanda. Traction strength of a soft plastic contact MSW leachate over time. 2016. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

The production of municipal solid waste (MSW) increases every day because of the association of a number of factors such as population growth, increased purchasing power, facility of access to consumer goods, etc. Consequently, the management and disposal have become a major problem to be faced where currently one of the main means of disposal of MSW is the landfill. Optimize its useful life due to absence of suitable land for this purpose, especially in large urban centers, exigencies stricter controllers and regulators; it has become a major focus of both municipal and state managers. One way to improve the use of MSW disposal sites is increasing embankment height, but if not done properly can cause significant damage to the environment and society. The presence of materials with similar properties to existing fibers in the mass of solid waste such as plastics and textiles, promote an increase in mass of the shear strength of MSW landfill, but these materials are undergoing decomposition and changing its properties, consequently, may cause changes in shear strength over time. Thus, this study aims to evaluate the influence of the leachate on the tensile strength of the soft plastic and specific objectives to assess the width, distance between anchors and speed the resulting pulls, check for variation of pH, chemical oxygen demand (COD), alkalinity, volatile fatty acids, ammonia, nitrogen and total phosphorus present in the leachate over time and to assess the structure and the soft plastic components with and without immersion in the leachate. Plastics grocery bags, cut into 0.5 to 1.0 cm wide strips were used. These were in contact with leachate collected in a landfill in the metropolitan region of Curitiba-PR, and then were subjected to tensile tests, every fifteen days, varying the distance between the anchors (0 cm, 7 cm and 21 cm) and the test speed ($1 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ and $4 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$). The study showed that the tests performed with a width of 1 cm resulted in those made with superior traction width of 0.5 cm. The distance between the anchors and speed of test interfere significantly in tensile values, and tests performed at a speed of $4 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ resulted in superior traction. When taking into account the contact time was not possible to reach a definitive conclusion as contact time was relatively low. With the analysis of scanning electronic microscopy (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS) were unable to verify that there is deposition of solids in the plastic strips and that there are different chemical components present in the solid aluminum, for example.

Keywords: Plastic Bags. Municipal Solid Waste. Landfill. Leachate. Fiber Effect.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Municípios segundo a destinação final dos resíduos sólidos domiciliares e/ou público	30
Figura 2 – Modelo para resíduo sólido urbano.....	33
Figura 3 – Variação da resistência do resíduo urbano com a idade do aterro em virtude dos processos de degradação.....	37
Figura 4 – Efeito de reforço através da mobilização de tensões de tração interna.....	38
Figura 5 – Curva tensão <i>versus</i> deformação com a interação entre as duas parcelas de resistência, atrito e reforço.....	39
Figura 6 – Variações das parcelas da resistência ao cisalhamento com a tensão normal.....	40
Figura 7 – Curva teórica da compressibilidade dos RSU	43
Figura 8 – Execução da camada de argila compactada do aterro sanitário e impermeabilização com	46
Figura 9 – A) Execução do sistema de drenagem de base e remoção de lixiviado (escala de detalhe)	47
Figura 10 – Vista do sistema de drenagem de gases	48
Figura 11 – Canaleta de drenagem superficial de um aterro de resíduos	48
Figura 12 – Cobertura de resíduos.....	49
Figura 13 – Curvas de tensão versus deformação para fibras, plástico rígido, plástico flexível e elastômero.....	52
Figura 14 – Sacola plástica utilizada	57
Figura 15 – Etapas para o corte das tiras de plástico. A) Sacola plástica inteira. B) Sacola plástica com os lados cortados. C) Marcação. D) Corte das tiras	58
Figura 16 – Índice pluviométrico do mês de setembro de 2014.....	59
Figura 17 – Ponto de coleta	59
Figura 18 – Transferência do lixiviado para os galões de 5 litros.....	60
Figura 19 – Equipamento <i>professional plus handheld multiparameter</i> utilizado para medir pH	60
Figura 20 – Diluição do lixiviado em 25 vezes	61
Figura 21 – A) Tubos com solução de oxidante + solução catalítica + amostra, prontas para digestão. B) Digestão das amostras. C) Espectrofotômetro utilizado na leitura de absorvância	62
Figura 22 – Conjunto de equipamentos utilizados para análise de alcalinidade	63

Figura 23 – Conjunto de equipamentos utilizados para análise de ácidos voláteis.....	64
Figura 24 – Equipamento utilizado para análise de nitrogênio amoniacal e fósforo total	65
Figura 25 – Recipientes contendo o plástico mole, todos etiquetados	65
Figura 26 – Recipientes contendo o plástico mole e lixiviado, etiquetadas.....	66
Figura 27 – Visão geral da bancada utilizada para os ensaios de tração do plástico mole.....	66
Figura 28 – Anel de poliamida	67
Figura 29 – Transdutores.....	67
Figura 30 – Dispositivos para segurar as tiras de plástico mole.....	68
Figura 31 – Distância entre as ancoragens	69
Figura 32 – Fluxograma explicativo dos ensaios de força de tração.....	69
Figura 33 – Dessecador utilizado para a retirada da umidade das tiras plástico mole	73
Figura 34 – Conjunto de equipamentos para análise de MEV e EDS.....	73
Figura 35 – Características químicas do lixiviado ao longo do tempo.....	75
Figura 36 – pH do lixiviado ao longo do tempo.....	75
Figura 37 – A) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 0 cm e taxa de carregamento de 1 mm.min ⁻¹ . B) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 0 cm e taxa de carregamento de 4 mm.min ⁻¹ . C) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 7 cm e taxa de carregamento de 1 mm.min ⁻¹ . D) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 7 cm e taxa de carregamento de 4 mm.min ⁻¹	78
Figura 38 – A) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 21 cm e taxa de carregamento de 1 mm.min ⁻¹ . B) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 21 cm e taxa de carregamento de 4 mm.min ⁻¹ . C) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 0 cm e taxa de carregamento de 1 mm.min ⁻¹ . D) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 0 cm e taxa de carregamento de 4 mm.min ⁻¹	80
Figura 39 – A) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 7 cm e taxa de carregamento de 1 mm.min ⁻¹ . B) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 7 cm e taxa de carregamento de 4 mm.min ⁻¹ . C) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 21 cm e taxa de carregamento de 1 mm.min ⁻¹ . D) Força de tração obtida nos	

ensaios com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 21 cm e taxa de carregamento de 4 mm.min ⁻¹	82
Figura 40 – A) Análise de dados fixando a distância entre as ancoragens em 0 cm e a taxa de carregamento em 1mm.min ⁻¹ , variando a largura. B) Análise de dados fixando a distância entre as ancoragens em 0 cm e a taxa de carregamento em 4 mm.min ⁻¹ , variando a largura. C) Análise de dados fixando a distância entre as ancoragens em 7 cm e a taxa de carregamento em 1 mm.min ⁻¹ , variando a largura. D) Análise de dados fixando a distância entre as ancoragens em 7 cm e a taxa de carregamento em 4 mm.min ⁻¹ , variando a largura.	84
Figura 41 – A) Análise fixando a distância entre as ancoragens em 21 cm e a taxa de carregamento em 1 mm.min ⁻¹ , variando a largura. B) Análise fixando a distância entre as ancoragens em 21 cm e a taxa de carregamento em 4 mm.min ⁻¹ , variando a largura.....	85
Figura 42 – A) Análise de dados fixando a largura em 1 cm e taxa de carregamento em 1 mm.min ⁻¹ , variando a distância entre as ancoragens. B) Análise de dados fixando a largura em 1 cm e taxa de carregamento em 4 mm.min ⁻¹ , variando a distância entre as ancoragens. C) Análise de dados fixando a largura em 0,5 cm e taxa de carregamento em 1 mm.min ⁻¹ , variando a distância entre as ancoragens. D) Análise de dados fixando a largura em 0,5 cm e taxa de carregamento em 4 mm.min ⁻¹ , variando a distância entre as ancoragens	88
Figura 43 – A) Análise de dados fixando a largura em 1 cm e distância entre as ancoragens em 0 cm, variando a taxa de carregamento. B) Análise de dados fixando a largura em 1 cm e distância entre as ancoragens em 7 cm variando a taxa de carregamento. C) Análise de dados fixando a largura em 1 cm e distância entre as ancoragens em 21 cm, variando a taxa de carregamento. D) Análise de dados fixando a largura em 0,5 cm e distância entre as ancoragens em 0 cm, variando a taxa de carregamento.	91
Figura 44 – A) Análise de dados fixando a largura em 0,5 cm e distância entre as ancoragens em 7 cm, variando a taxa de carregamento. B) Análise de dados fixando a largura em 0,5 cm e distância entre as ancoragens em 21 cm, variando a taxa de carregamento	92
Figura 45 – Efeitos principais para o ensaio realizado sem imersão no lixiviado.....	95
Figura 46 – Interação para o ensaio realizado sem imersão no lixiviado.....	96
Figura 47 – Efeitos principais para o ensaio realizado aos 180 dias imerso no lixiviado.....	97
Figura 48 – Interação para o ensaio realizado aos 180 dias imerso no lixiviado	98
Figura 49 – Análise de MEV	101
Figura 50 – Análise de EDS com o plástico sem imersão no lixiviado	102
Figura 51 – Análise de EDS com o plástico mole imerso no lixiviado 165 dias	103
Figura 52 – Análise de EDS com o plástico mole imerso no lixiviado 261 dias	104

Figura 53 – Análise de EDS com o plástico mole imerso no lixiviado 332 dias	105
Figura 54 – Determinação de deslocamento máximo a ser utilizado para todos os ensaios ao longo do tempo	116
Figura 55 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole sem imersão no lixiviado	120
Figura 56 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole sem imersão no lixiviado .	121
Figura 57 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole sem imersão no lixiviado	121
Figura 58 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 15 dias imerso no lixiviado.....	122
Figura 59 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 15 dias imerso no lixiviado	123
Figura 60 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 15 dias imerso no lixiviado.....	123
Figura 61 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 30 dias imerso no lixiviado.....	124
Figura 62 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 30 dias imerso no lixiviado	125
Figura 63 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 30 dias imerso no lixiviado.....	125
Figura 64 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 45 dias imerso no lixiviado.....	126
Figura 65 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 45 dias imerso no lixiviado	127
Figura 66 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 45 dias imerso no lixiviado.....	127
Figura 67 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 60 dias imerso no lixiviado.....	128
Figura 68 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 60 dias imerso no lixiviado	129
Figura 69 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 60 dias imerso no lixiviado.....	129
Figura 70 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 75 dias imerso no lixiviado.....	130

Figura 71 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 75 dias imerso no lixiviado	131
Figura 72 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 75 dias imerso no lixiviado.....	131
Figura 73 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 90 dias imerso no lixiviado.....	132
Figura 74 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 90 dias imerso no lixiviado	133
Figura 75 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 90 dias imerso no lixiviado.....	133
Figura 76 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 105 dias imerso no lixiviado.....	134
Figura 77 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 105 dias imerso no lixiviado	135
Figura 78 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 105 dias imerso no lixiviado.....	135
Figura 79 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 120 dias imerso no lixiviado.....	136
Figura 80 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 120 dias imerso no lixiviado	137
Figura 81 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 120 dias imerso no lixiviado.....	137
Figura 82 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 135 dias imerso no lixiviado.....	138
Figura 83 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 135 dias imerso no lixiviado	139
Figura 84 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 135 dias imerso no lixiviado.....	139
Figura 85 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 150 dias imerso no lixiviado.....	140
Figura 86 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 150 dias imerso no lixiviado	141
Figura 87 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 150 dias imerso no lixiviado.....	141

Figura 88 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 165 dias imerso no lixiviado.....	142
Figura 89 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 165 dias imerso no lixiviado	143
Figura 90 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 165 dias imerso no lixiviado.....	143
Figura 91 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 180 dias imerso no lixiviado.....	144
Figura 92 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 180 dias imerso no lixiviado	145
Figura 93 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 180 dias imerso no lixiviado.....	145

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa da quantidade de resíduos domiciliares e/ou públicos coletados	29
Tabela 2 – Estimativo da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil.....	29
Tabela 3 – Grupos principais de RSU	31
Tabela 4 – Composição gravimétrica de algumas cidades nacionais e internacionais.....	32
Tabela 5–Parâmetros do lixiviado bruto.....	50
Tabela 6– Classificação dos plásticos, exemplos de aplicação	53
Tabela 7 – Propriedades físicas do PEBD	54
Tabela 8 – Ensaio realizados e seu respectivo tempo e deslocamento necessário para estabilização da curva de força de tração <i>versus</i> deformação	70
Tabela 9 – Teste t comparando o ensaio sem imersão das tiras plásticas no lixiviado aos demais tempos	93
Tabela 10 – ANOVA para ensaio realizado sem imersão do plástico mole no lixiviado	94
Tabela 11 – ANOVA para ensaio realizado aos 180 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	96
Tabela 12 – Elementos químicos e seus respectivos percentuais encontrados na análise de EDS com o plástico mole sem imersão no lixiviado	102
Tabela 13 – Elementos químicos e seus respectivos percentuais encontrados na análise de EDS com o plástico mole imerso no lixiviado por 165 dias	103
Tabela 14 – Elementos químicos e seus respectivos percentuais encontrados na análise de EDS com o plástico mole imerso no lixiviado por 261 dias	104
Tabela 15 – Elementos químicos e seus respectivos percentuais encontrados na análise de EDS com o plástico mole imerso no lixiviado por 332 dias	105
Tabela 16 – Forças de tração obtidas com os ensaios e utilizadas para resultados e discussões	117
Tabela 17 – Resultados da análise química do lixiviado ao longo do tempo.....	119
Tabela 18 – ANOVA para ensaio realizado sem imersão do plástico mole no lixiviado	120
Tabela 19 – ANOVA para ensaio realizado aos 15 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	122
Tabela 20 – ANOVA para ensaio realizado aos 30 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	124

Tabela 21 – ANOVA para ensaio realizado aos 45 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	126
Tabela 22 – ANOVA para ensaio realizado aos 60 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	128
Tabela 23 – ANOVA para ensaio realizado aos 75 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	130
Tabela 24 – ANOVA para ensaio realizado aos 90 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	132
Tabela 25 – ANOVA para ensaio realizado aos 105 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	134
Tabela 26 – ANOVA para ensaio realizado aos 120 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	136
Tabela 27 – ANOVA para ensaio realizado aos 135 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	138
Tabela 28 – ANOVA para ensaio realizado aos 150 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	140
Tabela 29 – ANOVA para ensaio realizado aos 165 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	142
Tabela 30 – ANOVA para ensaio realizado aos 180 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	144

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	22
1.1 OBJETIVOS.....	23
1.1.1 Objetivo Geral.....	23
1.1.2 Objetivos Específicos.....	23
1.2 JUSTIFICATIVA.....	23
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	24
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	26
2.1.1 Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	26
2.1.2 Situação Geral dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil.....	28
2.1.3 Características Físicas dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	31
2.1.3.1 Composição gravimétrica.....	31
2.1.3.2 Composição granulométrica.....	33
2.1.3.3 Teor de umidade.....	33
2.1.3.4 Peso específico.....	34
2.1.3.5 Permeabilidade.....	35
2.1.3.6 Temperatura.....	35
2.1.4 Características Químicas dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	35
2.1.4.1 Composição química.....	36
2.1.4.2 Poder calorífico.....	36
2.1.4.3 Relação carbono/nitrogênio (C/N).....	36
2.1.4.4 Potencial hidrogeniônico (pH).....	37
2.1.5 Características Mecânicas dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	37
2.1.5.1 Resistência ao cisalhamento.....	37
2.1.5.2 Compressibilidade.....	42
2.1.6 Métodos de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos.....	44
2.1.7 Métodos de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos.....	45
2.1.8 Aterro Sanitário e seus Elementos Básicos.....	45
2.2 LIXIVIADO.....	49
2.3 PLÁSTICOS.....	51
2.3.1 Classificação dos Plásticos.....	51
2.3.2 Polietileno de Baixa Densidade (PEBD).....	54

2.3.2.1 Sacola plástica – plástico mole.....	55
3 METODOLOGIA.....	57
3.1 PLÁSTICO MOLE.....	57
3.2 COLETA DO LIXIVIADO.....	58
3.3 ANÁLISE QUÍMICA DO LIXIVIADO.....	61
3.3.1 Demanda Química de Oxigênio	61
3.3.2 Alcalinidade.....	62
3.3.3 Ácidos Voláteis	63
3.3.4 Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total.....	64
3.4 IMERSÃO DO PLÁSTICO MOLE NO LIXIVIADO	65
3.5 ENSAIO DE FORÇA DE TRAÇÃO DO PLÁSTICO MOLE.....	66
3.5.1 Determinação do Deslocamento de Cada Ensaio	70
3.6 ANÁLISES DE DADOS.....	71
3.6.1 Análise Estatística dos Resultados	71
3.7 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E ESPECTROSCOPIA DE ENERGIA DISPERSIVA (EDS)	72
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	74
4.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO LIXIVIADO	74
4.2 ENSAIOS DE FORÇA DE TRAÇÃO.....	75
4.2.1 Influência do Lixiviado	76
4.2.2 Influência da Largura das Tiras de Plástico Mole	83
4.2.3 Influência da Distância Entre as Ancoragens.....	85
4.2.4 Influência da Taxa de Carregamento.....	89
4.2.5 Análise Estatística dos Resultados de Força de Tração.....	92
4.2.5.1 Lixiviado.....	92
4.2.5.2 Largura, distância entre as ancoragens e taxa de carregamento	93
4.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E ESPECTROSCOPIA DE ENERGIA DISPERSIVA (EDS)	100
5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
SUGESTÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS.....	108
REFERÊNCIAS	109
APÊNDICE A – Determinação de deslocamento máximo a ser utilizado para todos os ensaios ao longo do tempo	116
APÊNDICE B – Resultados obtidos pelos ensaios de força de tração.....	117

APÊNDICE C – Resultados da análise química do lixiviado	119
APÊNDICE D – Resultados da análise estatística para ensaios realizados sem imersão do plástico mole no lixiviado	120
APÊNDICE E – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 15 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	122
APÊNDICE F – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 30 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	124
APÊNDICE G – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 45 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	126
APÊNDICE H – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 60 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	128
APÊNDICE I – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 75 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	130
APÊNDICE J – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 90 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	132
APÊNDICE K – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 105 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	134
APÊNDICE L – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 120 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	136
APÊNDICE M – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 135 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	138
APÊNDICE N – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 150 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	140
APÊNDICE O – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 165 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	142
APÊNDICE P – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 180 dias de imersão do plástico mole no lixiviado.....	144

1 INTRODUÇÃO

A produção de resíduos sólidos urbanos (RSU), gerados por atividades domésticas, comerciais e industriais, aumenta a cada dia em razão da associação de uma série de fatores, tais como: crescimento populacional, aumento do poder aquisitivo, facilidade de acesso aos bens de consumo, etc.

Em consequência, o gerenciamento destes resíduos, e, por conseguinte, sua destinação final tornou-se um grande dilema a ser encarado. Atualmente, a principal disposição destes resíduos é em aterros sanitários, suscitando alguns problemas, sejam eles momentâneos ou duradouros, presentes ou futuros.

Estes problemas, de forma geral, envolvem desde a implantação e operação, até o fechamento do aterro, uma vez que os projetos e a construção de aterros sanitários no Brasil adotam parâmetros geotécnicos definidos em países desenvolvidos, os quais, muitas vezes, podem deixar de apresentar validação em nosso País. Os nossos resíduos possuem composição diferenciada, originando parâmetros discordantes com os admitidos naqueles países, e a simples adoção de parâmetros geotécnicos introduzidos pode acarretar em situações críticas, a médio e longo prazo, que poderão criar problemas e zonas de riscos (CARVALHO, 1999).

Segundo Oliveira (2002), tem sido frequente a tentativa de solucionar estes problemas: aumentando a capacidade de deposição dos locais em operação ou reutilizando os locais cujas atividades já se encerraram.

Os projetos de alteamento de aterros sanitários têm sido desenvolvidos sem precedentes, sendo que para Borgatto (2006) são comuns a estas tentativas consequências danosas e imprevisíveis, em razão da falta de conhecimento das características e comportamentos, principalmente geotécnicos dos RSU. Um exemplo seriam os problemas de estabilidades de taludes de maciços sanitários que têm ocorrido em todo o mundo, inclusive no Brasil, tendo como exemplo o escorregamento do aterro sanitário Bandeirantes, situado na cidade de São Paulo, na década de 90.

Vários estudos vêm sendo desenvolvidos para que se possa ter melhor entendimento quanto à estabilidade de taludes em aterros sanitários, principalmente no que diz respeito à contribuição de materiais fibrosos na resistência ao cisalhamento.

Neste contexto, faz-se necessário, cada vez mais, conhecer os parâmetros envolvidos, neste assunto tão complexo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo principal da presente dissertação é avaliar a influência que o lixiviado exerce sobre a resistência à força de tração do plástico mole ao longo do tempo.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos constituem-se em:

- Avaliar a resistência à força de tração do plástico mole em diferentes tempos de contato com o lixiviado;
- Avaliar a resistência à força de tração do plástico mole em ensaios com diferentes larguras;
- Avaliar a resistência à força de tração do plástico mole em diferentes distâncias entre as ancoragens de ensaio;
- Avaliar a resistência à força de tração do plástico mole em diferentes taxas de carregamentos de ensaio;
- Verificar se há, no lixiviado, variação de pH, variação na concentração da demanda química de oxigênio (DQO), alcalinidade, ácidos voláteis, nitrogênio amoniacal e fósforo total ao longo do tempo, e
- Avaliar a estrutura e os componentes presentes no plástico mole ao longo do tempo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Em consequência do alto consumo de bens, duráveis e não duráveis, há grande geração de resíduos, sejam eles recicláveis ou não. Os resíduos recicláveis podem ser reutilizados de diferentes formas, como por exemplo, a reintrodução na cadeia produtiva, produção de novos materiais, ou até mesmo para confecção de artesanato. Por outro lado, os resíduos não recicláveis devem ser destinados a algum tipo de tratamento, por exemplo, térmico ou disposição final em aterros.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada em 2008 (IBGE, 2010), o Brasil tem como principal forma de destinação final os aterros sanitários, os quais

representam cerca de 50,8%, sendo que em 2013, esses valores aumentaram para 58,3%, segundo a ABRELPE (2013).

Neste contexto, é de fundamental importância conhecer as etapas envolvidas no processo de gerenciamento dos RSU, desde a geração até o seu tratamento ou disposição final, em especial a disposição em aterros sanitários. Esta forma de disposição envolve vários aspectos que deverão ser levados em consideração, desde a simples caracterização dos resíduos até o comportamento geotécnico do maciço.

Vários estudos nacionais (DE LAMARE NETO, 2004; FUCALE, 2005; NASCIMENTO, 2007) estão direcionados a compreender melhor o comportamento geotécnico dos resíduos sólidos urbanos, pois a maioria dos aspectos técnicos da execução e operação de um aterro é importada de outros países nos quais os RSU são diferentes e se comportam de uma forma diferenciada, podendo gerar sérios danos, uma vez que os RSU vão sofrendo alterações em suas propriedades ao longo do tempo por consequência de uma série de fatores, dentre eles, a ação dos microrganismos, da temperatura, do ambiente ácido ou alcalino, e também pelo contato com o lixiviado.

Dentre os esforços voltados aos estudos da geotecnia dos aterros sanitários se destaca o estudo da resistência ao cisalhamento proporcionada por materiais fibrosos presentes na massa de resíduos. O plástico, principalmente o mole, é o mais utilizado em pesquisas, pois o percentual deste material presente na massa de resíduos é o que mais se destaca. Estudos como os de Gawlik (2014), Corrêa (2013), Cardim (2008), Borgatto (2006) e Kolsch (1995) se destacam nesse meio. Porém, esses estudos não avaliam material com comportamento fibroso, no caso o plástico mole, o qual sofre alterações quando se encontra em um aterro sanitário, sendo que, dentre esses fatores se encontra o contato com o lixiviado. Neste contexto, optou-se por avaliar a influência que o lixiviado exerce na resistência à força de tração do plástico mole durante determinados períodos de tempo, em particular das sacolas plásticas devido à grande utilização das mesmas para o acondicionamento de resíduos nas residências.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho foi dividido em cinco capítulos, a fim de facilitar a compreensão do leitor. No capítulo dois foi apresentada a revisão de literatura, a qual busca situar o leitor sobre os aspectos gerais dos resíduos sólidos urbanos, incluindo desde aspectos como geração e destinação até propriedades geotécnicas como resistência ao cisalhamento. Ainda neste capí-

tulo são tratadas algumas particularidades do lixiviado e também de propriedades do plástico mole.

No terceiro capítulo foram abordados os materiais utilizados e a metodologia empregada.

Os resultados do ensaio de força de tração do plástico mole, da análise química do lixiviado, da microscopia eletrônica de varredura e da microanálise química são expostos no capítulo quatro, juntamente com as discussões de todos os resultados.

As conclusões e recomendações para trabalhos futuros são abordados no quinto capítulo.

E, por fim, são apresentados as referências bibliográficas e os apêndices.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No primeiro foi abordada a classificação dos resíduos sólidos (RSU), tanto no âmbito da legislação, bem como no âmbito geotécnico, e a situação dos RSU no Brasil. Foram expostas também, as principais características físicas, químicas, biológicas e mecânicas dos RSU, dando ênfase para a característica mecânica de resistência ao cisalhamento. O segundo e terceiro itens versaram sobre o lixiviado gerado em aterros de RSU e as principais características do plástico mole, respectivamente.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Os resíduos sólidos, popularmente conhecidos como lixo, são restos provenientes de algum tipo de atividade humana que podem não ter mais valor e precisam ser “jogados fora”. Este grupo é bem amplo, pois engloba resíduos de diversas áreas (IZZO, 2008).

Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004) resíduos sólidos são:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) define resíduos sólidos como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

2.1.1 Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos

Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004) a classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

A lei 12.305 (BRASIL, 2010) estabelece que os resíduos são classificados conforme sua origem em:

- a) Resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) Resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) Resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) Resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) Resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde;
- h) Resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) Resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) Resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) Resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Detalhando os RSU, os mesmos podem ser classificados de diferentes formas, os quais dependem para que fim este processo é realizado: com o objetivo legislativo, geotécnico, entre outros.

Atualmente a classificação mais conhecida e aplicada é a da NBR 10004 (ABNT, 2004) que classifica os resíduos sólidos da seguinte maneira:

- **Resíduos Classe I – perigosos:** São os resíduos perigosos, pois apresentam alguma periculosidade por alguma característica seja de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
- **Resíduos Classe II – não perigosos**
 - Resíduos Classe II A – não inertes:** são aqueles que não se enquadram como resíduos CLASSE I (perigosos) ou de resíduos CLASSE II B (não perigosos – inertes). Os resíduos da CLASSE II A podem apresentar propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
 - Resíduos Classe II B – inertes:** são aqueles que, quando amostrados de uma forma representativa, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, exceto cor, turbidez, dureza e sabor.

Já no âmbito geotécnico, segundo as recomendações do GLR (Geotechnic of Landfill Recommendations), os RSU podem ser classificados como materiais semelhantes a solos, tendo comportamento parecido a este e, portanto, os princípios de mecânica dos solos se aplicam; e materiais diferentes de solos, aos quais as aplicações de mecânica dos solos são limitadas ou não se aplicam. No entanto, segundo alguns autores (KNOCHENMUS et al., 1998; KÖNIG e JESSBERGER, 1997, apud IZZO, 2008) os resíduos sólidos urbanos se incluem apenas nesta última categoria.

Landva e Clark (1990) classificaram os resíduos sólidos como orgânicos e inorgânicos. Os orgânicos são divididos em putrescíveis, que são resíduos que se decompõem com facilidade (restos de alimentos, raízes, resíduos de poda e jardinagem, etc) e não putrescíveis, que são de origem orgânica, porém necessitam de um maior tempo para que se decomponham (como borracha, couro, papéis, tintas, plásticos, etc). Já os inorgânicos são classificados em degradáveis, compreendendo basicamente os metais, e não degradáveis, os quais possuem baixíssimo potencial de decomposição (cerâmicas, vidros, solos, entulho de construção, etc). Dixon e Langer (2006) destacam que esta classificação proposta anteriormente fornece informações detalhadas sobre a degradação e compressibilidade potencial de componentes, porém não considera a forma ou propriedade do material.

Dixon e Langer (2006) propuseram uma nova forma de classificação, avaliando o comportamento mecânico dos resíduos. Os autores consideraram o estado dos componentes dos RSU em três fases distintas: durante a deposição no aterro, após a colocação, e a longo prazo, em consequência da degradação. Em cada fase, os resíduos foram examinados para obter informações sobre o tipo de material, a forma, o tamanho e o potencial de degradação. Com estas propriedades é possível agrupá-los em materiais compressíveis, incompressíveis e de reforço.

2.1.2 Situação Geral dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012), entre os anos de 2000 e 2008, a geração média *per capita* de resíduos sólidos no Brasil foi de 1,1 kg, no entanto, no período, houve em quase todas as regiões nacionais, aumento da produção *per capita* média de resíduos, exceto na região sudeste na qual houve redução de 18,18% (Tabela 1).

Tabela 1 – Estimativa da quantidade de resíduos domiciliares e/ou públicos coletados

Unidade de análise	Quantidade de resíduos coletados (t/dia)		Quantidade de resíduos por habitante urbano (kg/hab.dia)	
	2000	2008	2000	2008
Brasil	149.094,30	183.481,50	1,1	1,1
Norte	10.991,40	14.637,30	1,2	1,3
Nordeste	37.507,40	47.203,80	1,1	1,2
Sudeste	74.094,00	68.179,10	1,1	0,9
Sul	18.006,20	37.342,10	0,9	1,6
Centro-Oeste	8.495,30	16.119,20	0,8	1,3

Fonte: Modificado de Brasil (2012)

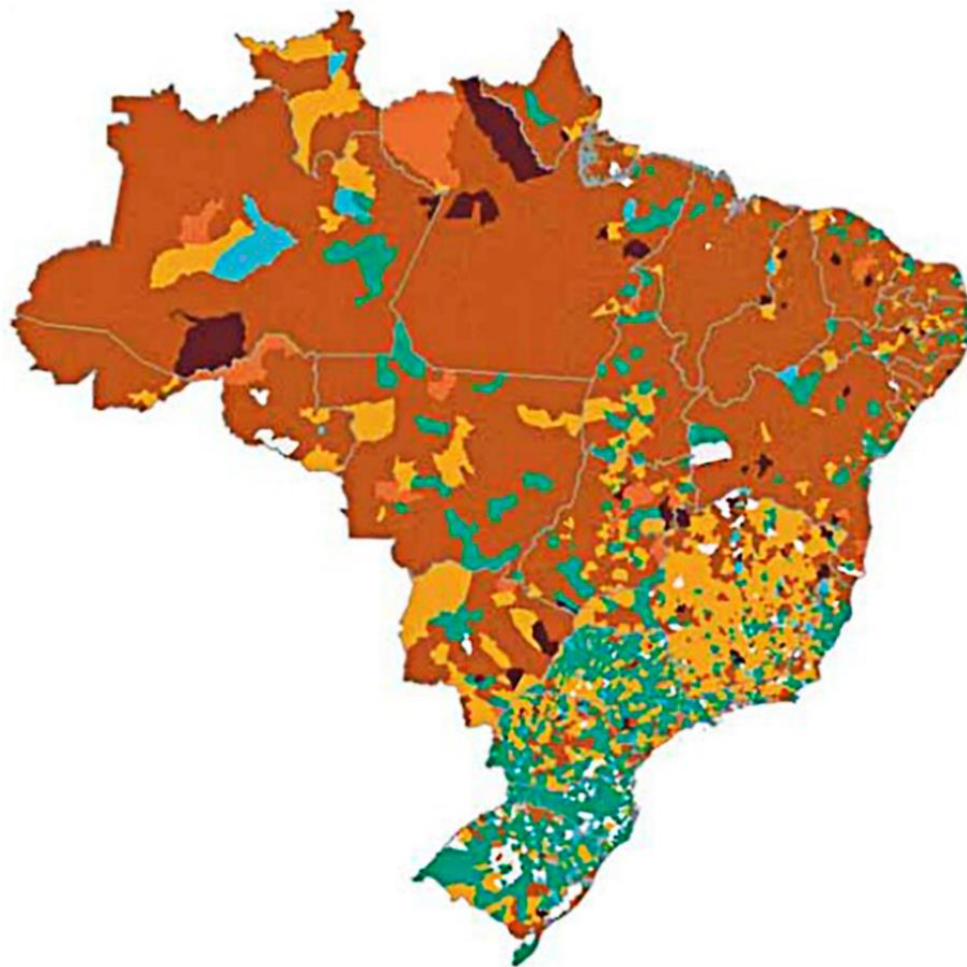
Dentre os principais resíduos gerados estão o plástico, papel, metal, vidro e material orgânico. Na Tabela 2 pode ser observada a quantidade de cada material coletado no Brasil em 2008.

Tabela 2 – Estimativo da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil

Resíduos	Participação (%)	Quantidade (t/dia)
Material Reciclável	31,9	58.527,40
Metais	2,9	5.293,5
Aço	2,3	4.213,7
Alumínio	0,6	1.079,9
Papel, Papelão e Tetrapak	13,1	23997,4
Plástico Total	13,5	24.847,9
Plástico Filme	8,9	16.399,6
Plástico Rígido	4,6	8.448,3
Vidro	2,4	4.388,6
Matéria Orgânica	51,4	94.335,1
Outros	16,7	30.618,9
Total	100,0	183.481,5

Fonte: Brasil (2012)

Esses resíduos devem ter algum destino, e, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) fica sob responsabilidade dos municípios essa gestão. A última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada em 2008, e publicada pelo IBGE em 2010, relata que no Brasil, cerca de 50,8% dos RSU ainda eram destinados a céu aberto, 22,5% em aterro controlado e 27,7% em aterro sanitário. Na Figura 1 são apresentados os municípios brasileiros conforme a destinação final de seus resíduos.



Destinação final dos resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos

- Aterro controlado e aterro sanitário
- Aterro sanitário
- Aterro controlado
- Vazadouro a céu aberto (lixão) e aterro sanitário
- Vazadouro a céu aberto (lixão) e aterro controlado
- Vazadouro a céu aberto (lixão), aterro controlado e aterro sanitário
- Vazadouro a céu aberto (lixão)

Figura 1 – Municípios segundo a destinação final dos resíduos sólidos domiciliares e/ou público

Fonte: IBGE (2010)

Tomando como base a Figura 1, nota-se que as regiões Norte, Nordeste e Centro-oeste são as que possuem menor número de aterros sanitários ou controlados, sendo que seus resíduos são destinados, principalmente, em vazadouros a céu aberto, popularmente conhecidos como lixões. Já os municípios da região sudeste, em sua maioria, destinam os RSU a aterros controlados e aterros sanitários. A região Sul é a que mais se destaca, destinando seus resíduos, principalmente em aterros sanitários.

Em particular, no Estado do Paraná, 46,4% dos municípios dispõe os RSU em aterros sanitários, 30,3% em aterros controlados e 23,3% em lixões (PARANÁ, 2012). Esses valores divergem quando comparados com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2010), na qual o Paraná aparece com cerca de 81,7% dos seus resíduos sendo destinados a aterros controlados e aterros sanitários, enquanto que dados coletados pelo Instituto Ambiental do Paraná este valor é de 76,7%. Especificamente, no município de Curitiba, os resíduos sólidos urbanos são todos destinados a um aterro sanitário (PARANÁ, 2012).

2.1.3 Características Físicas dos Resíduos Sólidos Urbanos

Neste tópico foram expostas as principais características físicas dos resíduos sólidos urbanos, dando maior atenção para composição gravimétrica dos RSU.

2.1.3.1 Composição gravimétrica

A composição gravimétrica dos RSU traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total dos resíduos sólidos. Este parâmetro é influenciado por diversas variáveis, merecendo destaque a sazonalidade, região, poder aquisitivo e acesso aos bens de consumo. Esta característica reflete as condições de desenvolvimento econômico, tecnológico, cultural e sanitário da população que lhe deu origem. Na Tabela 3 é possível observar os principais grupos que geralmente estão presentes na massa de RSU.

Tabela 3 – Grupos principais de RSU

Grupo	Componente
Papel	Papel, Papelão
Plástico	Plástico Duro, Plástico Filme
Vidro	Vidro Claro, Vidro Escuro
Orgânico	Matéria Orgânica, Agregado Fino
Metal	Metal Ferroso, Metal Não Ferroso
Inerte	Pedra, Louça/Cerâmica
Outros	Folha, Madeira, Borracha, Têxteis, Couro, Ossos

Fonte: COMLURB (2005)

Na Tabela 4, encontra-se a composição gravimétrica de algumas localidades nacionais e internacionais.

Tabela 4 – Composição gravimétrica de algumas cidades nacionais e internacionais

Local	Referência (Adaptado de)	Papel (%)	Plástico (%)	Vidro (%)	Orgânico (%)	Metal Inerte (%)	Outros (%)
Caçador-SC	ALMEIDA, 2012.	5,98	12,86	3,03	38,90	1,82	- 37,41
Apuí-AM	SANTOS et al., 2013.	9,63	7,70	1,63	58,60	3,80	1,91 16,72
Poxoréu-MT	PRADO E MATTOS, 2014.	12,00	12,00	4,00	63,00	3,00	- 6,00
Curitiba-PR	RIBEIRO JUNIOR, 2013.	16,63	17,17	2,64	39,95	1,52	0,58 21,25
Maxixe	FERNANDO e LIMA, 2012.	4,00	12,00	3,50	47,70	3,30	37,60 1,90
Chlef- Argélia	NAIMA et al., 2012.	7,28	8,58	1,84	65,20	1,39	1,86 13,85
Portugal	PORTUGAL, 2013.	13,00	11,00	5,00	38,30	2,00	- 31,30
EUA	USEPA, 2014.	27,40	12,70	4,60	28,00	8,90	- 16,60

Em países com renda baixa e média baixa o percentual de resíduos orgânicos ficou em torno de 60%, enquanto que em países com renda média alta e alta, o percentual de resíduos orgânicos é de 54% e 28%, respectivamente. Essa diferença notória é explicada pela economia, os países que possuem maior desenvolvimento, os produtos industrializados são mais consumidos, tendo, como consequência, o aumento do percentual de materiais recicláveis, como vidro, metal, papel e plástico, e conseqüentemente, a redução de resíduo orgânico (WORLD BANK, 2012).

O conhecimento da composição física dos RSU, em relação aos percentuais de matéria orgânica e de plásticos/têxteis tem relação direta com a resistência ao cisalhamento dos resíduos. Os têxteis e plásticos, principais componentes fibrosos da massa de resíduos, conferem valores de pseudo coesão elevados, lembrando que a coesão em questão não tem relação com a definida para solos argilosos que é devida às forças eletroquímicas de atração de partículas (BOSCOV, 2008; BORGATTO, 2006). O peso específico, a permeabilidade e a umidade da massa de RSU são influenciados diretamente pelo percentual de matéria orgânica. Teor de umidade elevado tem como consequência valores de permeabilidade e pesos específicos mais baixos (BORGATTO, 2006).

Rezende et al. (2013) realizaram a gravimetria em dois bairros da cidade de Jaú (SP) e constataram que o plástico mole teve aumento de 59% entre os anos de 2001 e 2010. Com este estudo, os autores puderam prever o aterramento de cinco toneladas por dia deste material, valores extrapolados para todo o município.

O conhecimento da composição física possibilita uma análise do poder de contaminação ambiental, da degradabilidade, das possibilidades de reinserção na cadeia produtiva e valorização energética e orgânica dos RSU (SOARES, 2011). Portanto, é de grande importân-

cia o conhecimento dessas características, para que se possa indicar a melhor forma de tratamento e disposição final.

2.1.3.2 Composição granulométrica

A curva granulométrica do resíduo possui elevada variabilidade em decorrência da gravimetria e do local de produção. Este parâmetro recebe influência significativa dos equipamentos mecânicos de separação e compactação utilizados (SANTOS, 2004). Segundo Borgatto (2006), a análise da distribuição do tamanho das partículas é comumente realizada utilizando-se a análise granulométrica clássica da mecânica dos solos. Portanto, a composição granulométrica dos RSU os caracteriza como um material predominantemente granular, apresentando elevado percentual de frações grosseiras (tamanho correspondente a pedregulhos) e com fração fina inferior a 20% (partículas < 0,075 mm).

Segundo o modelo proposto por Kockel (1995), o RSU pode ser caracterizado, a exemplo dos solos reforçados com fibras, como um material composto dividido em 2 componentes: uma matriz básica com grãos finos e médios (diâmetro < 120 mm) e uma matriz de reforço (fibras), compreendendo plásticos, panos, galhos, etc. (diâmetro > 120 mm) (Figura 2).

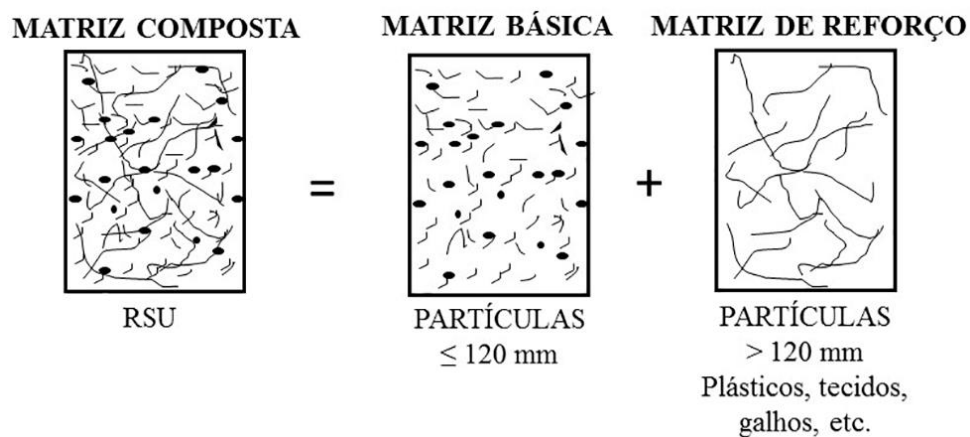


Figura 2 – Modelo para resíduo sólido urbano

Fonte: Kockel (1995)

2.1.3.3 Teor de umidade

O teor de umidade do RSU depende da composição inicial do material, do processo de operação do aterro, das condições climáticas locais, da taxa de decomposição, da capaci-

dade e funcionamento dos sistemas de coleta de líquidos percolados (lixiviado) e do sistema de *liner* de recobrimento (SOARES, 2011). Este último é um fator determinante na umidade da massa de resíduos, pois caso o sistema seja ineficiente, ou seja, o sistema não impeça a entrada de grandes quantidades de água provenientes da precipitação, a umidade aumentará devido a água infiltrada, e também como consequência aumento no volume de lixiviado produzido. Segundo Soares (2011), no aterro sanitário, o teor de umidade pode variar entre um ponto e outro, tornando-se relevante a obtenção do perfil de umidade com a profundidade, o qual pode ser obtido com sonda de nêutrons ou secagem de amostras representativas em estufa. O teor de umidade pode também ser quantificado em laboratório, utilizando estufa com temperatura entre de 50 e 65°C para a secagem das amostras de RSU, podendo ser determinado tanto em base seca como em base úmida.

Lima et al. (2002), encontraram valores de teor de umidade de 70% para resíduos frescos, enquanto que para resíduos mais velhos (15 anos) o teor de umidade variou de 20 a 40%.

2.1.3.4 Peso específico

É o peso da unidade de volume de um corpo que corresponde à relação entre o peso e o volume da amostra, isto é, a relação que exprime o peso na unidade de volume. Assim como os outros parâmetros, o peso específico sofre influência de diversos fatores como a composição do resíduo, cobertura diária e grau de compactação durante a deposição (RIBEIRO, 2007).

Carvalho e Mahler (2005) citam os principais fatores que influenciam o peso específico, além dos já citados, são a decomposição dos resíduos com o tempo, a dissipação da poro-pressão dos líquidos e dos gases, e a consolidação dos resíduos devido à sobreposição de novas camadas. Segundo Soares (2011), quanto maior for a quantidade de componentes leves como, materiais com comportamento fibroso, papel e papelão, menor será o peso específico da massa de resíduos. Em áreas de maior poder aquisitivo, com maior consumo de materiais recicláveis, o peso específico dos RSU é menor, quando comparado às áreas de menor poder aquisitivo, com maior descarte de material orgânico.

Rezende et al., (2013), encontraram peso específico de 136,2 kg.m⁻³, para RSU fresco, no município de Jaú – SP. O peso específico da massa de resíduos dentro de aterros sanitários aumenta com a idade do resíduo, conforme observado no aterro sanitário de Santo André

– SP; em camadas recentes o peso específico é 8 kN.m^{-3} , enquanto que, em camadas mais antigas o peso específico sobe para 16 kN.m^{-3} (CARVALHO; MAHLER, 2005).

2.1.3.5 Permeabilidade

Parâmetro de projeto e de operação de fundamental importância em aterros sanitários, pois influencia no cálculo das vazões nos sistemas de drenagem e tratamento de lixiviado e gases, na análise dos recalques e nos estudos de estabilidade (SUZUKI, 2012). A literatura internacional mostra coeficientes de permeabilidade de RSU na ordem de 10^{-6} e 10^{-4} m.s^{-1} , enquanto que esses valores para os RSU brasileiros se encontram, na sua maioria, entre 10^{-8} e 10^{-6} m.s^{-1} (BOSCOV, 2008). Suzuki (2012) e De Lamare Neto (2004) atribuem essa diferença a um percentual maior de materiais putrescíveis presentes na massa de resíduos brasileiros. Valores entre 10^{-5} e 10^{-8} m.s^{-1} foram reportados por Machado et al., (2010), no aterro sanitário de bandeirantes.

2.1.3.6 Temperatura

As temperaturas no interior da massa de resíduos são de grande importância, principalmente no que diz respeito à atividade microbiológica que promove a degradação dos diversos componentes do resíduo. Os microrganismos existentes dentro da massa não controlam sua própria temperatura, ficando altamente condicionados à temperatura do meio, o que propicia o surgimento de diferentes tipos de bactérias para faixas variadas de temperaturas (JUNQUEIRA, 2000). As temperaturas dos aterros de resíduos sólidos urbanos normalmente variam entre $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$, com valores crescentes até profundidades entre 5 e 10 m, quando tendem a se estabilizar (DE LAMARE NETO, 2004). Bouazza; Nahlawi e Aylward (2011), realizaram durante 20 meses, o monitoramento da temperatura de uma célula de um aterro sanitário no Sudeste de Melbourne, Austrália, detectando temperaturas acima de $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ nos primeiros 3 meses de monitoramento, tendendo a se estabilizar ao longo do tempo.

2.1.4 Características Químicas dos Resíduos Sólidos Urbanos

Neste item foram abordadas as principais características químicas dos resíduos sólidos urbanos.

2.1.4.1 Composição química

A composição química é de fundamental importância quando da escolha do processo de tratamento a ser utilizado nos RSU ou da forma de disposição final. Algumas características se fazem relevantes, como matéria orgânica, teor de cinzas, carbono, potássio, fósforo e nitrogênio (BORGATTO, 2010).

2.1.4.2 Poder calorífico

Indica o potencial de um material desprender determinada quantidade de calor, quando submetido à queima, sendo importante nos processos de tratamento térmico dos resíduos (IZZU, 2008). Em estudo realizado por Soares (2011), na cidade do Rio de Janeiro, o poder calorífico dos RSU variou de 3030,34 kcal.kg⁻¹ a 4526,67 kcal.kg⁻¹ nas amostras analisadas. Esta variação é explicada pela composição dos resíduos analisados, amostras com maior poder calorífico é composta por baixa quantidade de materiais orgânicos e da maior participação das frações de frações papel/papelão, plástico duro, trapos, isopor e madeira, enquanto que, amostras com menor poder calorífico contêm maior percentual de materiais orgânicos e quantidades inferiores de plásticos, papéis e isopores. Cheng et al., (2007), retrata valores de poder calorífico entre 3000 e 6700 kJ.kg⁻¹, nas cidades chinesas.

2.1.4.3 Relação carbono/nitrogênio (C/N)

A relação carbono/nitrogênio é uma das formas de medir a degradabilidade na massa de resíduos sólidos, sendo que quanto maior for a relação, menos avançado é o estágio de degradação do resíduo, já que os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica necessitam de carbono para o seu desenvolvimento, e de nitrogênio para a síntese de proteínas. Alta proporção de C/N gera um retardamento no processo de degradação, já que os microrganismos não serão capazes de digerir todo o carbono presente. Por outro lado, se esta relação for baixa, ocorrerá anaerobiose, pois todo o oxigênio é consumido rapidamente (PEREIRA, 2013). Cabeza et al., (2013), relatou valores de relação C/N em resíduos sólidos frescos de 17,1. López et al., (2009), verificaram em seu estudo valores de relação C/N em diferentes países, os quais variaram entre de 15 a 20.

2.1.4.4 Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) é indicador da alcalinidade ou acidez presente nos RSU e está diretamente ligado com a velocidade de degradação e estabilização da matéria orgânica na massa de resíduos, variando dentro de um aterro sanitário conforme a fase de degradação que se encontra.

2.1.5 Características Mecânicas dos Resíduos Sólidos Urbanos

Neste item foram apresentadas as principais características mecânicas dos RSU, dando maior atenção à resistência ao cisalhamento, pois o plástico influencia diretamente nesta característica.

2.1.5.1 Resistência ao cisalhamento

A resistência ao cisalhamento é influenciada pela degradação dos resíduos sólidos, devido ao enfraquecimento do efeito de reforço que materiais como plásticos, têxteis e fibras proporcionam (CARVALHO, 1999). Na Figura 3, observa-se a redução do ângulo de atrito, em função do tempo de degradação dos resíduos.

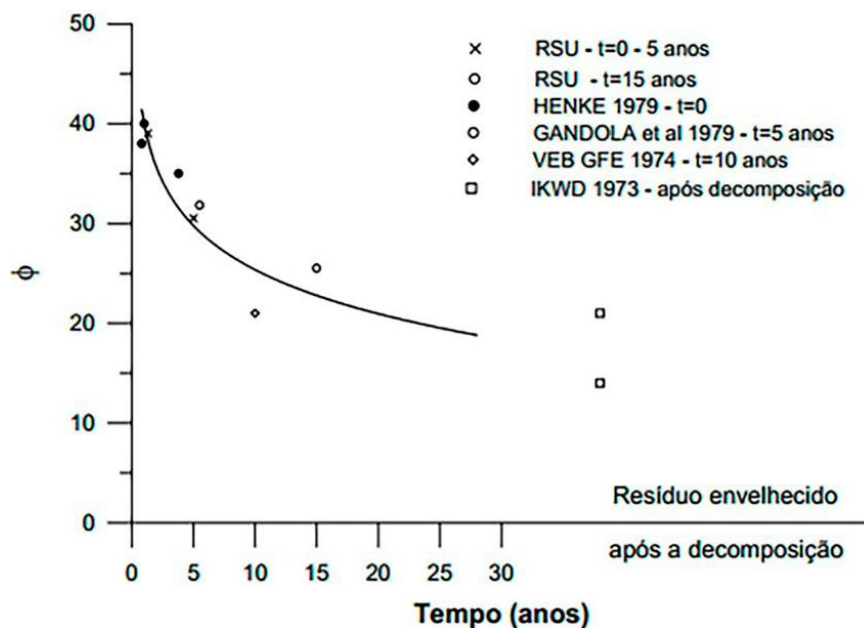


Figura 3 – Variação da resistência do resíduo urbano com a idade do aterro em virtude dos processos de degradação

Fonte: Massacci et al. (1993 apud CARVALHO, 1999)

Na área de solos reforçados, a resistência ao cisalhamento do material é devida às propriedades de atrito (ϕ), coesão (c), e pelo efeito do reforço, sendo que o efeito do reforço abrange o ângulo de tensão de tração (ζ), fator de correção para a ativação das fibras (a_ζ) e tensão de tração das fibras (Z_{max}) (KÖLSCH, 1996 apud CORRÊA, 2013; FUCALE, 2005). Quando o material reforçado sofre uma deformação devida ao cisalhamento, são produzidas tensões de tração interna através da deformação dos componentes de reforço. Estas tensões de tração aumentam a resistência ao cisalhamento. A mobilização destas tensões é apresentada através do exemplo de um material granular reforçado (FUCALE, 2005) (Figura 4).

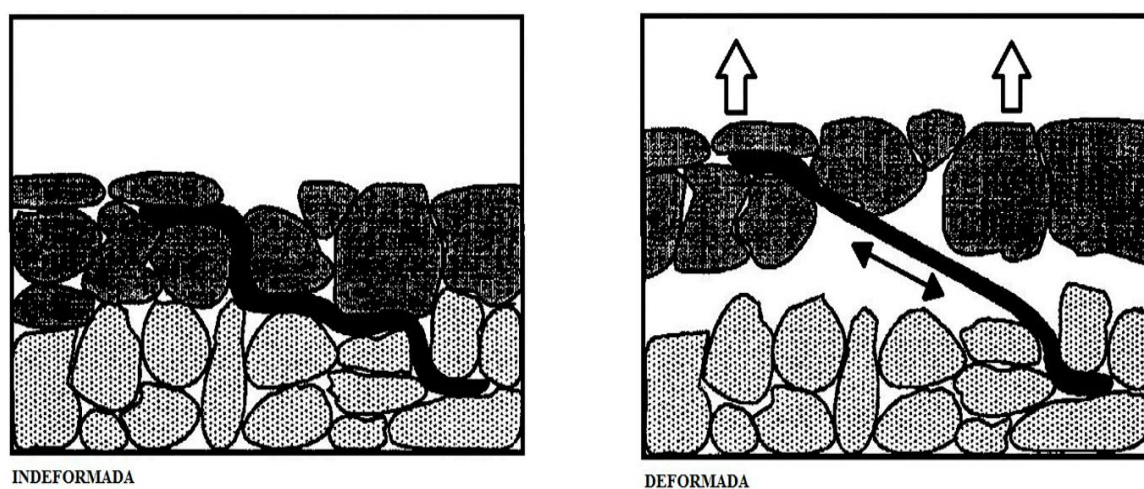


Figura 4 – Efeito de reforço através da mobilização de tensões de tração interna

Fonte: Kölsch (1996, apud FUCALE, 2005)

Para Fucale (2005), o modelo proposto por Kölsch (1993, 1995, 1996) consiste no estado atual da arte em uma análise mais realística da capacidade de carga de aterros sanitários. O modelo admite que componentes fibrosos presentes na composição dos RSU criem forças que resistam à tração, dependendo do entrosamento das mesmas com a massa de resíduos, da tensão normal e do tipo de compactação. A partir de ensaios de compressão triaxial e cisalhamento direto, realizado por Kölsch (1995), obteve-se o modelo de carga apresentado na Figura 5.

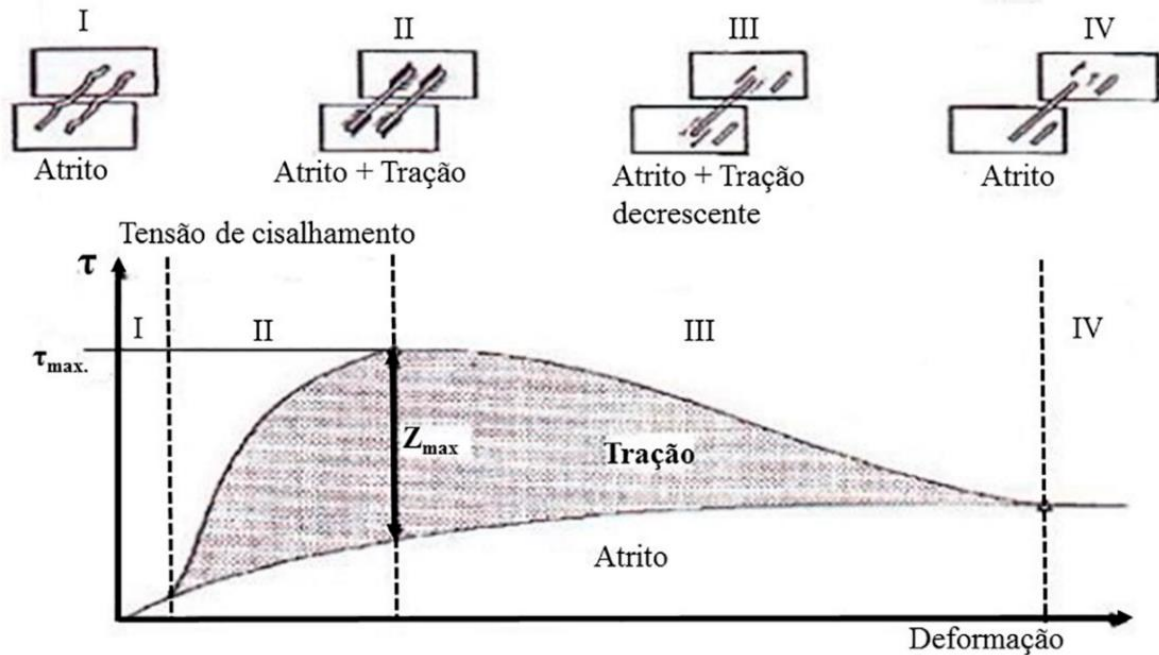


Figura 5 – Curva tensão *versus* deformação com a interação entre as duas parcelas de resistência, atrito e reforço

Fonte: Adaptado de Kölsch (1995, apud DE LAMERE NETO, 2004)

Na curva de tensão de cisalhamento *versus* deformação, observa que para pequenas deformações existe somente a mobilização das forças de atrito (I) e, quando se aumenta a deformação, as fibras vão sendo aos poucos tracionadas, as forças de tração aumentam até atingirem um valor máximo que equivale a resistência à tração, neste ponto a máxima resistência ao cisalhamento é alcançada (II). A partir do valor máximo de tensão ($Z_{máx.}$) a parcela das forças de tração sofre redução (III), sendo que em seguida, a resistência ao cisalhamento se limita à parcela devido ao atrito (IV), a qual aumenta linearmente conforme o aumento da tensão normal. Por outro lado, a parcela devida às forças de tração das fibras se comporta conforme expresso na Figura 6, sendo que a efetiva contribuição na resistência ao cisalhamento é iniciada em um determinado valor de tensão normal (σ_1) e é crescente até um valor máximo para os valores de tensão normal (σ_2), a partir do qual ocorre decréscimo (σ_3) até se anular (σ_4).

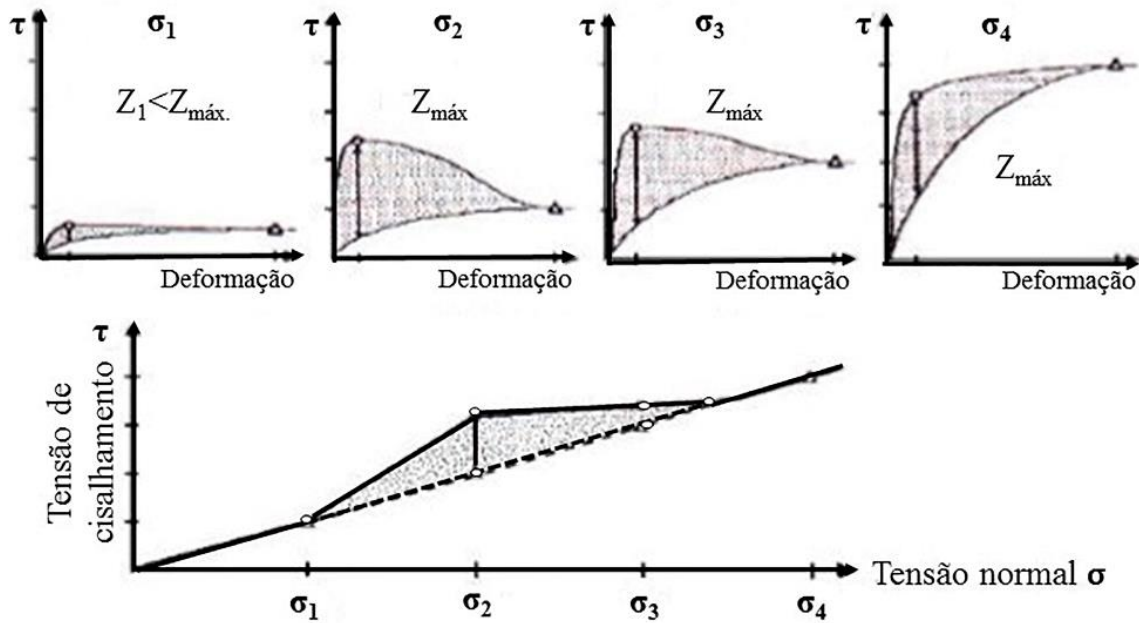


Figura 6 – Variações das parcelas da resistência ao cisalhamento com a tensão normal

Fonte: Adaptado de Kölsch (1995, apud DE LAMARE NETO, 2004)

Os depósitos de resíduos, de forma geral, se assemelham em alguns aspectos aos maciços de solo reforçado com fibras, principalmente no que diz respeito à resistência ao cisalhamento. Isto porque o maciço de resíduos pode ser caracterizado como uma estrutura composta, consequência da associação de dois elementos de natureza distinta e funções complementares (DE LAMARE NETO, 2004).

Autores como Fucale (2005), Borgatto (2006), Corrêa (2013) e Gawlik (2014) se dedicaram ao estudo da influência dos componentes de reforço na resistência ao cisalhamento de maciços sanitários.

Ensaio de cisalhamento direto convencionais e de grandes dimensões, utilizando RSU velhos e RSU oriundos de pré-tratamento mecânico e biológico foram executados por Fucale (2005). As amostras foram elaboradas com diferentes porcentagens de fibras, observando-se um acréscimo de resistência ao longo do deslocamento, porém sem atingir um pico, nem mesmo para níveis máximos obtidos no ensaio (20%). Com o estudo, a autora confirmou que os elementos de reforço (plásticos, têxteis, fibras, dentre outros) são responsáveis pelos altos valores dos parâmetros de resistência e das tensões cisalhantes.

De Lamere Neto (2004) avaliou a interação de material granular com fibras, submetendo-os a ensaios de cisalhamento direto em equipamento convencional e de grandes dimensões, utilizando amostras de areia misturadas, em diferentes percentuais, a pequenas tiras de plástico, e amostras do resíduo do pré-tratamento mecânico biológico de resíduo, com dife-

rentes tamanhos de partículas. Nos ensaios realizados com areia e plástico, o autor destaca que o plástico tem influência marcante no aumento dos valores do intercepto coesivo e do ângulo de atrito, sendo que este aumento se mostra proporcional ao percentual de plástico incorporado. A partir das curvas de tensões de cisalhamento *versus* deslocamentos horizontais obtidas, o autor concluiu que ocorre mobilização das fibras quando se aumenta as tensões de cisalhamento. Para deslocamentos horizontais próximos a 1,5% as fibras ainda não haviam sido solicitadas, ou seja, a resistência ao cisalhamento era devida somente à parcela de atrito. Para deslocamentos horizontais normalizados superiores a 1,5%, quando começa, efetivamente, a mobilização das fibras, verificou-se um aumento de resistência que acompanhou o aumento do percentual de fibras das amostras. No que diz respeito aos ensaios com material proveniente do tratamento mecânico biológico, as curvas de tensão cisalhante *versus* deslocamentos horizontais não apresentaram pontos de pico bem definidos, com a tensão cisalhante apresentando uma tendência de crescimento mesmo atingindo o limite de deslocamento horizontal dos ensaios.

Corrêa (2013) investigou a contribuição dos termoplásticos nos parâmetros de resistência dos. Para os ensaios de tração do plástico, a autora encontrou para o PEAD uma tensão máxima de $F = 6,74 \text{ N}$ e $\tau = 2,88 \text{ MPa}$, enquanto que para PEBD foi de $F = 14,44 \text{ N}$ e $\tau = 6,17 \text{ MPa}$, confirmando que quanto menor a densidade do plástico, maior a resistência à tração. Nos ensaios de cisalhamento direto foi observado que os pedaços de plástico das amostras com PEBD apresentaram-se praticamente intactos, enquanto que para as amostras de PEAD, os pedaços de plástico apresentaram-se bastante desgastados, rompidos. A autora destaca que houve acréscimo de 16° (PEAD) e de 10° (PEBD) no ângulo de atrito, representando 67 % e 42 %, respectivamente. A coesão apresentou um incremento de até 43 kPa nas amostras preparadas com PEAD e 15 kPa nas amostras preparadas com PEBD, em torno de 1.229 % e 429 %, respectivamente, tomando como base os ensaios sem polímeros. Corrêa (2013) constatou ainda que mesmo com a redução das sacolas plásticas nos aterros de RSU, os outros plásticos moles que continuarão a ser aterrados na massa de resíduos podem conferir o efeito de reforço das fibras sem prejuízo para a estabilidade de taludes dos aterros sanitários.

Gawlik (2014) realizou ensaios de cisalhamento direto convencional com tensões normais de 50, 100 e 200 kPa, utilizando areia, areia e tiras de plástico mole, areia e tiras de plástico mole imersas no lixiviado por 2, 4 e 6 semanas, composto e composto e tiras de plástico mole e orientações das tiras de plástico mole em 30° , 60° e 90° . A autora detectou aumento na resistência ao cisalhamento, com o incremento do plástico mole, tanto nos ensaios com areia (15%), quanto nos ensaios com composto (10%). O lixiviado, aparentemente, afeta a

resistência RSU e avaliou a variação destes parâmetros em aterros sanitários, caso as sacolas plásticas fossem retiradas dos supermercados. Foram realizados ensaios de resistência à tração com plásticos moles (polietileno de alta densidade – PEAD e polietileno de baixa densidade – PEBD), e ensaios de cisalhamento direto de amostras preparadas com diferentes porcentagens de plásticos misturados a um material granular, simulando resíduos sólidos estabilizados do plástico com o passar do tempo e também parece afetar a capacidade de deformação do plástico, mas isso pode indicar que o plástico, em contato com lixiviado, irá romper com uma menor deformação do que no caso do plástico sem contato com lixiviado. Em paralelo, Gawlik (2014), realizou ensaio de tração das tiras de plástico mole, sendo que para esta análise a autora verificou que quanto menor a distância entre as ancoragens utilizada nos ensaios, maior a tração suportada.

2.1.5.2 Compressibilidade

Segundo Cardim (2008), a compressibilidade do RSU é de grande importância para a previsão das movimentações dos maciços compactados. Esta previsão permite melhor avaliar os elementos da parte estrutural do aterro como camadas de cobertura, sistemas de coleta de gases e fluidos, reforço, drenagem superficial, caixas de passagem e poços de inspeção. A quantificação da deformação da massa de resíduo contribui para um aspecto importante no gerenciamento dos resíduos sólidos, que é a otimização da vida útil dos aterros, uma vez que permite calcular a capacidade volumétrica adicional de armazenamento que os recalques geram.

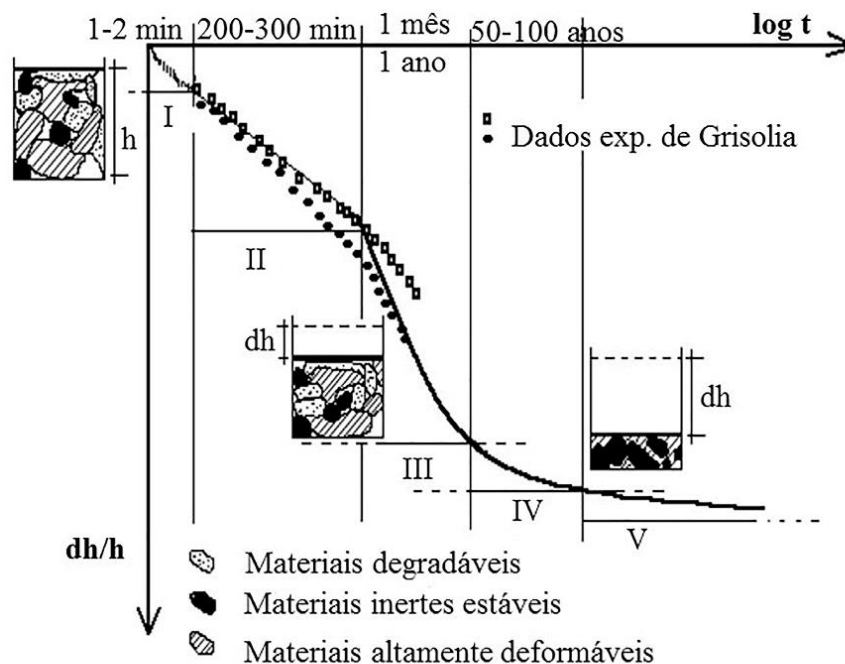
Bosco (2008) diz que a compressibilidade dos aterros é consequência do carregamento e de alterações dos materiais componentes dos RSU, sendo os principais mecanismos de compressão:

- Solicitação mecânica: distorção, dobra, esmagamento, quebra e rearranjo dos materiais;
- Ravinamento interno: erosão e migração de materiais finos para os vazios entre as partículas de maior tamanho;
- Alterações físico-químicas: corrosão, oxidação e combustão dos materiais;
- Biodegradação: degradação causada pelos microrganismos, transformando fase sólida em fases gasosas e líquidas;
- Dissipação das pressões neutras de líquidos e gases: expulsão de líquidos e gases do interior do aterro, demandando certo período;
- *Creep*: deformação lenta sob carga constante em razão de fenômenos viscosos; e
- Interação dos mecanismos.

Já a magnitude e a velocidade dos recalques, Gawlik (2014) destaca que estão associados aos seguintes fatores:

- Densidade ou índice de vazios inicial;
- Porcentagem de materiais degradáveis;
- Altura do aterro;
- Trajetória de tensões;
- Nível e flutuação de chorume, e
- Parâmetros físicos (umidade, temperatura, presença de gases, etc.).

Grisolia e Napoleoni (1996, apud NASCIMENTO, 2007) apresentaram uma curva de compressibilidade teórica para explicar os diversos mecanismos responsáveis pelos recalques nos aterros sanitários de RSU (Figura 7). Carvalho (1999) destaca que após o lançamento, há pouco contato entre os materiais inertes estáveis, e os resíduos apresentam estrutura porosa que pode variar de volume e forma. Sob carga, ocorre a redução de volume dos materiais altamente deformáveis e deslocamento dos inertes estáveis (fase II). Mantendo a carga constante, ocorre deformação do tipo *creep* e transformações da matéria orgânica (fase III), até que estabeleçam contatos diretos entre os elementos inertes estáveis.



Fase I: deformação inicial, redução da macroporosidade
 Fase II: recalque residual dos materiais altamente deformáveis
 Fase III: deformação lenta e decomposição dos organismos
 Fase IV: deformação concluída
 Fase V: deformação residual

Figura 7 – Curva teórica da compressibilidade dos RSU

Fonte: Grisolia e Napoleoni (1996, apud NASCIMENTO, 2007)

2.1.6 Métodos de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos

Caso os RSU passem por algum tipo de tratamento antes da disposição final e, dependendo do tratamento utilizado, o percentual de material com comportamento fibroso disposto no aterro sanitário será maior quando comparado com a disposição final sem nenhum tipo de tratamento precedente. A compostagem é um exemplo: o material orgânico é enviado para a compostagem reduzindo assim seu percentual na massa total que vai para o aterro, isso faz com que o percentual dos outros materiais aumente, inclusive do material com comportamento fibroso.

Os métodos de tratamento de RSU têm por finalidade reduzir o seu volume inicial, transformar os RSU em materiais inertes ou biologicamente estáveis e impedir o descarte dos mesmos em ambientes ou locais inadequados (BORGATTO, 2010).

Dentre os métodos de tratamento podem ser citados a coprocessamento, biodigestão, tratamento mecânico-biológico, compostagem, incineração e reciclagem, sendo os três últimos mais difundidos no Brasil.

- **Compostagem:** este processo transforma os resíduos sólidos orgânicos, através de processos físicos, químicos e biológicos, em material mais estável, podendo ser realizado por via aeróbia (presença de oxigênio), onde há alta temperatura na massa de resíduos e desprendimento de dióxido de carbono (CO_2), e também pode ocorrer pela via anaeróbia (ausência de oxigênio) onde há baixa temperatura na massa de resíduos e desprendimento de metano (CH_4) e ácido sulfídrico (H_2S) (BARROS, 2012). Os principais parâmetros que influenciam o processo de compostagem são temperatura, aeração, umidade, microrganismos, dimensões das partículas e relação C/N. O produto é um composto que pode ser aplicado no solo para o melhoramento de suas características. As principais vantagens deste processo são o aproveitamento da matéria orgânica na agricultura, reciclagem de nutrientes e redução de material enviado para destinação final;

- **Incineração:** este procedimento objetiva à redução do peso e do volume dos resíduos sólidos pela combustão (geralmente acima de 900°C), com monitoramento constante, visando à disposição final do material remanescente. Este processo transforma os resíduos em basicamente três produtos: as cinzas (formadas por constituintes inorgânicos), os gases de combustão (os quais necessitam de um tratamento adequado para a redução da concentração de alguns poluentes), e, por último, o calor (SANTOS, 2011). Dentre as vantagens da incineração podem ser citadas o aproveitamento energético dos resíduos, a redução de resíduos en-

viados aos aterros sanitários e, conseqüentemente, aumento da sua vida útil, redução na patogenicidade de resíduos hospitalares, entre outros;

- **Reciclagem:** processo de transformação dos resíduos sólidos, que envolve a alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas, visando à transformação em insumos ou novos produtos (BRASIL, 2010). A reciclagem tem como objetivo a reintrodução no sistema econômico de uma parcela da matéria e/ou energia a qual seria descartada (BARROS, 2012). No Brasil, os principais produtos enviados para a reciclagem são o papel, plástico, vidro e alumínio, por possuírem maior valor comercial (ABRELPE, 2012). As principais vantagens que podem ser citadas são a contribuição para a redução da poluição do solo, ar e água, aumento da vida útil dos aterros sanitários, geração de receita pela comercialização, etc. (SOBRAL, 2012).

2.1.7 Métodos de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos

Quando se fala em disposição final de resíduos sólidos urbanos, vem à memória disposição no solo. No Brasil são três os principais tipos de disposição final de RSU:

- **Lixão:** o lixão é um método de disposição que não possui preocupação com o meio, não há impermeabilização do solo, coleta e tratamento de lixiviado, cobertura dos resíduos no final de cada jornada de trabalho, dentre outros descasos.
- **Aterro controlado:** este se difere do lixão pelo fato de realizar cobertura diária dos resíduos, reduzindo de forma significativa a proliferação de vetores e catadores.
- **Aterro sanitário:** o aterro sanitário é uma obra de engenharia que possui vários aparatos que mitigam o impacto causado pela disposição final dos RSU. Esta obra é constituída basicamente pelo sistema de tratamento da base e laterais do aterro, sistema de drenagem de base e remoção do lixiviado, sistema de drenagem de gases, sistema de drenagem de águas pluviais, sistema de cobertura dos resíduos e sistema de monitoramento.

2.1.8 Aterro Sanitário e seus Elementos Básicos

O princípio básico do aterro de resíduos é conter a migração de contaminantes para o meio ambiente, com o objetivo de evitar a poluição das águas superficiais, das águas subterâneas, do ar e do solo, bem como reações adversas na cadeia alimentar (BOSCOV, 2008).

Para que este objetivo seja alcançado várias obras de engenharia devem ser desenvolvidas em conjunto.

- Sistema de tratamento de base e laterais do aterro: o tratamento de fundação consiste na impermeabilização da base e laterais do aterro com o objetivo de impedir que o lixiviado migre para o solo e para a água subterrânea, e tem a função de agir como barreira hidráulica, minimizando o fluxo de fluidos durante a operação e após o encerramento (BORGATTO, 2010). O material utilizado para a impermeabilização deve ser estanque, durável e possuir resistência química e mecânica. Os tipos de impermeabilização da base, e laterais, de aterros geralmente utilizados são: solos de baixa permeabilidade compactados ($k < 10^{-7} \text{ cm.s}^{-1}$), também chamados de barreiras minerais ou *liners* argilosos, geossintéticos, e a combinação dos dois tipos (Figura 8) (BORGATTO, 2006).

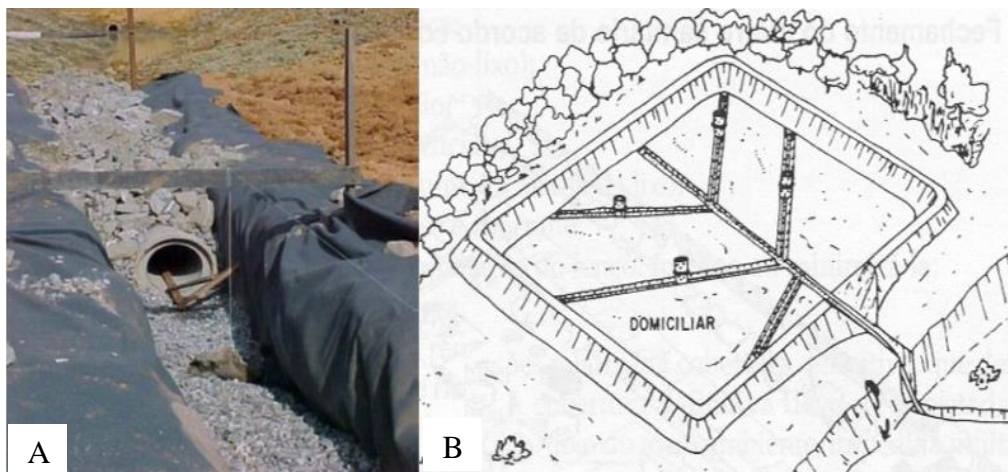


Figura 8 – Execução da camada de argila compactada do aterro sanitário e impermeabilização com geossintéticos

Fonte: Adaptado de Gawlik (2014)

- Sistema de drenagem de lixiviado: o sistema de drenagem de lixiviados tem como função coletar e conduzir o lixiviado através de drenos internos para unidades de tratamento, reduzindo assim as pressões atuantes dos líquidos na massa de resíduos aterrados e evitando o acúmulo de líquido sobre o sistema de impermeabilização (TAPAHUASCO, 2009; JUNQUEIRA, 2000). Esse sistema comumente consiste em uma camada de material granular de alta permeabilidade, como rachão, protegida por uma camada de filtração, geralmente areia ou geotêxtil. Dentro da camada de material granular é disposta uma tubulação perfurada, conduzindo o lixiviado a um reservatório ou trincheira, de onde é removido para o tratamento (Figura 9A) (TAPAHUASCO, 2009). O sistema de drenagem é executado em forma de espinha de

peixe, onde há drenos secundários ligados aos drenos principais, os quais conduzem o lixiviado até a estação de tratamento. (Figura 9B).



**Figura 9 – A) Execução do sistema de drenagem de base e remoção de lixiviado (escala de detalhe)
B) Disposição de um sistema de drenagem para líquidos percolados numa célula de aterro sanitário, tipo espinha de peixe**

Fonte: A) CTR Nova Iguaçu, 2003 (apud BORGATTO, 2006). B) IPT, 1998 (apud TAPAHUASCO, 2009)

- Sistema de drenagem de gases: o sistema de drenagem de gases é compreendido basicamente por drenos verticais e camadas horizontais interligados. As camadas horizontais fazem parte da cobertura, sendo geralmente constituídas de areia, geotêxteis espessos, geomantas e geocompostos para drenagem. Já os drenos verticais atravessam todo o perfil do aterro e são construídos por manilhas de concreto perfuradas, envolvidas por materiais granulares (BOSCOV, 2008). Segundo Nahas (2004), os sistemas de drenagem de gases podem ser ativos ou passivos. O sistema ativo se caracteriza pela aplicação de vácuo para forçar a drenagem, sendo geralmente utilizado em aterros com reaproveitamento de biogás. Já no sistema passivo, a drenagem dos gases é feita naturalmente. Os aterros sanitários brasileiros, em grande maioria, empregam esta última alternativa (Figura 10).



Figura 10 – Vista do sistema de drenagem de gases

Fonte: CTR Nova Iguaçu (2006 apud BORGATTO, 2006)

- Sistema de drenagem de águas pluviais: o sistema de drenagem de águas pluviais corresponde ao conjunto de dispositivos que possuem por finalidade captar e conduzir as águas superficiais para áreas externas ao aterro, evitando erosão (CAMARGO, 2012) e infiltração na massa de resíduos. Os dispositivos comumente utilizados são as canaletas de berma, sarjetões, descidas d'água nos taludes, canaletas de concreto, descidas d'água em degraus, caixas de passagem, etc (NAHAS, 2004) (Figura 11).



Figura 11 – Canaleta de drenagem superficial de um aterro de resíduos

Fonte: Saaevicosa (2011)

- Sistema de cobertura dos resíduos: o sistema de cobertura dos resíduos pode ser diário ou final. Tem a finalidade de proteger a superfície das células de resíduo, controlar o espa-

lhamento dos resíduos pela ação do vento, inibir a proliferação de vetores, controlar a entrada de água e, portanto, minimizar a produção de lixiviados, odores, a presença de catadores, além de facilitar o tráfego de veículos sobre o local, eliminar a autocombustão de resíduos, controlar a saída do biogás, resistir a processos erosivos e permitir a utilização futura do local (IZZO, 2008; NAHAS, 2004). Para o cobrimento das células de resíduos ao final de cada jornada de trabalho têm sido empregados vários tipos de materiais: solos oriundos da própria área de escavação do aterro, solo de jazidas fora da área do aterro, materiais inertes que estariam dispostos no aterro, materiais selecionados e/ou triturados provenientes de resíduos domésticos e comerciais e geomembranas sintéticas removíveis. (NAHAS, 2004) (Figura 12).



Figura 12 – Cobertura de resíduos

Fonte: Silvo (2012)

- Sistema de monitoramento: na maioria das vezes, o monitoramento dos aterros sanitários se resume a observações topográficas dos recalques e a monitoramentos ambientais, como de águas superficiais e subterrâneas. Por outro lado, frente aos aterros de grandes dimensões, atualmente construídos, tornou-se necessário o conhecimento de outros parâmetros como pressões internas do aterro, deslocamentos horizontais e verticais, nível d'água, pressões de gás, movimento de solo de fundação, temperatura, entre outros (OLIVEIRA, 2002).

2.2 LIXIVIADO

Alguns autores se referem ao termo chorume como líquidos provenientes do próprio resíduo, seja como a umidade natural destes ou os gerados pelo processo de decomposição. Já o lixiviado se refere à mistura de água que infiltra e percola pela massa de resíduos e carrega consigo produtos da decomposição dos mesmos (SOUTO, 2009).

São três os principais fatores que influenciam na produção de lixiviado: a água intersticial dos resíduos urbanos, o balanço hídrico e a impermeabilização do aterro. Já a composição dos resíduos, idade do aterro e recirculação do lixiviado influenciam na composição do lixiviado (GIORDANO; BARBOSA FILHO; CARVALHO, 2011).

Na Tabela 5, encontram-se os parâmetros analisados por diversos autores e sua respectiva faixa de variação encontrada.

Tabela 5–Parâmetros do lixiviado bruto

Referência (Adaptado de)	pH	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	Nitrogênio amoniacal (mg.L ⁻¹)	Fósforo total (mg.L ⁻¹)
TARTARI, 2003.	*	1976,40	*	487,60	9,90
EDUARDO, 2007.	8,20	2400	5389	1330	*
AMARAL et al., 2008.	8,20	2576	6536	1079	10
NÓBREGA et al., 2009.	*	*	*	*	0,65
MORAVIA, LANGE e AMARAL, 2011.	8,30	2354	5263	1055	14,50
DIAS, 2013.	8,30	3145	*	2210,19	39
GAWLIK, 2014.	7,50	22000	*	176,50	*

¹mg.L⁻¹ de ácido acético, ²mg de carbonato de cálcio.L⁻¹

*Parâmetro não analisado

pH: se o pH está próximo de 6,0 indica que o lixiviado é novo e se próximo de 8,0, o lixiviado encontra-se na fase metanogênica, sendo considerado velho (GIORDANO; BARBOSA FILHO; CARVALHO, 2011). Segundo Souto (2009) o pH é o resultado da interação de diversas substâncias dissolvidas no lixiviado.

DQO: na fase anaeróbia acidogênica a DQO se apresenta em concentrações elevadas, já na fase seguinte, anaeróbia metanogênica, a matéria orgânica sofre decréscimo devido ao consumo de substâncias mais facilmente biodegradáveis. Na fase anaeróbia metanogênica e na fase de maturação final mais de 60% da DQO do lixiviado pode se encontrar na forma de compostos húmicos (YABROUDI, 2012).

Ácidos voláteis: a predominância de ácidos voláteis caracteriza a fase de formação de ácidos. Os ácidos correspondem de 60 a 90% do valor da DQO do lixiviado na fase ácida (BARLAZ; HAM, 1993 apud SOLTO, 2009).

Alcalinidade: a alcalinidade é um parâmetro que pode confirmar a metanização do lixiviado. Quanto mais alta, maior a transformação da matéria orgânica em CO₂ (GIORDANO; BARBOSA FILHO; CARVALHO, 2011).

Nitrogênio amoniacal: as concentrações de nitritos e nitratos são reduzidas em efluente proveniente de aterro sanitário devido a ambientes predominantemente anaeróbios. No entanto, por existir elevada atividade microbiológica, o nitrogênio orgânico, em quase sua totalidade, é convertido em nitrogênio amoniacal dentro do próprio aterro, sendo que os principais compostos orgânicos nitrogenados que servem como fonte de amônia são as proteínas (SOUTO, 2009).

Fósforo total: a grande quantidade de fósforo encontrada no lixiviado está em forma de ortofosfato. Agem principalmente como tampão alcalino, contribuindo para a alcalinidade total (FLECK, 2003 apud SOUTO, 2009).

2.3 PLÁSTICOS

Neste item serão abordados alguns aspectos sobre os plásticos, principalmente no que diz respeito ao polietileno de baixa densidade e às sacolas plásticas.

2.3.1 Classificação dos Plásticos

Os plásticos e borrachas são materiais que têm como seu componente principal um tipo de macromolécula denominada polímero (PAOLI, 2008). Um polímero é composto por meros que são as unidades moleculares que se repetem pelas ligações covalentes.

Segundo Lucas, Soares e Monteiro (2001) os polímeros podem ser classificados quanto:

- À ocorrência: naturais ou sintéticos.
- Quanto à forma molecular fixada por ligações químicas: linear, ramificada ou reticulada.
- Quanto à rotação dos átomos da cadeia em torno de ligações primárias: ziguezague ou novelo aleatório.
- Quanto ao encadeamento das unidades monoméricas: cabeça-cauda, cabeça-cauda/cauda-cauda e misto.
- Quanto ao arranjo dos átomos: isotático, sindiotático, e atático ou heterotático
- Quanto ao modo de preparação:
 - ✓ Condensação-adição (composição ou estrutura):

- Polímeros de condensação: poliamida, proteína/lã/seda, poliéster e celulose.
- Polímeros de adição: polietileno, poliisobutileno, poliacrilonitrila, policloreto de vinila, poliestireno, polimetacrilato de metila, poliisopreno.
- ✓ Etapa-cadeia (mecanismos das reações de polimerização).
- Quanto ao comportamento mecânico: plásticos, fibras, elastômeros, conforme Figura 13.

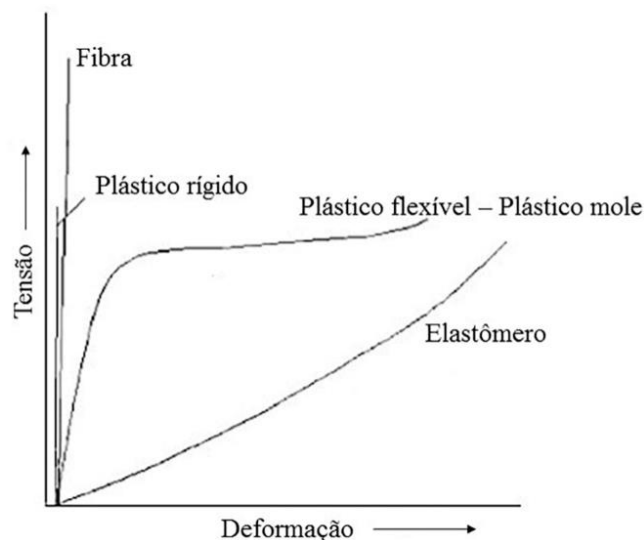


Figura 13 – Curvas de tensão versus deformação para fibras, plástico rígido, plástico flexível e elastômero

Fonte: Adaptado de Lucas, Soares e Monteiro (2001)

- Quanto às características de fusibilidade: termoplásticos e termorrígidos.
 - Quanto à estrutura química.
 - Quanto à quantidade de meros que compõem a cadeia: homopolímeros e copolímero.
- Outra forma mais simples de classificar os polímeros está relacionada com sua forma de processamento, podendo ser divididos em (PAOLI, 2008):
- Termoplásticos: podem ser moldados por aquecimento por diversas vezes;
 - Termofixos: são moldados na forma de pré-polímeros, posteriormente são encaminhados a um processo de “cura”, quando assumem a sua forma definitiva sem poderem ser moldados novamente por aquecimento;
 - Plásticos de engenharia: podem ser moldados a frio, mas a maioria deles também é moldado como termoplástico;

• Elastômeros (gomas ou borrachas): são materiais com alta elasticidade, podendo sofrer grandes deformações sem se romperem.






Mais especificamente, os termoplásticos ainda possuem uma subdivisão que, segundo Marczak (2004), são:

- Policloreto de vinila (PVC);
- Nylon;
- Acrílico;
- Policarbonato (PC);
- Polietileno de alta/baixa densidade (PEAD/PEBD);
- Polipropileno (PP);
- Poli-tereftalato de etileno (PET);
- Poliestireno (PS);
- Poli-metilmacrilato (PMMA);
- Acrilonitrila butadieno estireno (ABS).



Cada material citado dará origem a diferentes produtos que existem no mercado atualmente, dentre eles encontra-se a sacola plástica. Segundo Fabro, Lindemann e Vieira (2007) são dois os grupos de polietileno que mais são empregados na fabricação de sacolas plásticas: os de alta densidade (PEAD) – *high density polyethylene* (HDPE) – e os de baixa densidade (PEBD) – *low density polyethylene* (LDPE), que são as mais utilizadas. Segundo EPIC (2001), EPIC (2006) (apud Coltro et al., 2008) as sacolas plásticas estão enquadradas como PEBD (Tabela 6).

Tabela 6– Classificação dos plásticos, exemplos de aplicação

(continua)

RESINA	APLICAÇÃO
	Garrafas para refrigerante, água, óleo comestível, molho para salada, antisséptico bucal, xampu.
	Garrafas para iogurte, suco, leite, produtos de limpeza, potes para sorvete, frascos para xampu.
	Filmes estiráveis, berços para biscoitos, frascos para antisséptico, xampu, produtos de higiene pessoal, <i>blister</i> .
	Filme encolhível, embalagem flexível para leite, iogurte, saquinhos de compras , frascos <i>squeezable</i> .
	Potes para margarina, sorvete, tampas, rótulos, copos descartáveis, embalagem para biscoitos, xampu.

(conclusão)

RESINA	APLICAÇÃO
	Copos descartáveis, pratos descartáveis, pote para iogurte, bandejas, embalagem para ovos, acolchoamento.
	Embalagem multicamada para biscoitos e salgadinhos, mamadeiras, CD, DVD, utilidades domésticas.

Fonte: EPIC (2001), EPIC (2006, apud COLTRO et al., 2008).

2.3.2 Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)

O polietileno de baixa densidade (PEBD) também é conhecido como plástico mole, *low density polyethylene* (LDPE) e *soft plastic*.

O processo de produção de PEBD utiliza pressões entre 1000 e 3000 atm e temperaturas entre 100 e 300°C. Temperaturas acima de 300°C geralmente não são utilizadas, pois o polímero tende a se degradar. O oxigênio é o principal iniciador, pois sua reação é altamente exotérmica e, combinado a altas pressões, conduz a uma grande quantidade de ramificações de cadeia, as quais têm uma importante relação com as propriedades dos polímeros (COUTINHO et al., 2003). Algumas propriedades físicas do PEBD são encontradas na Tabela 7.

Tabela 7 – Propriedades físicas do PEBD

Propriedade	PEBD
Densidade (g.cm ⁻³)	0,912-0,925
Temperatura de fusão cristalina (°C)	102-112
Índice de refração (n_d)	1,51-1,52
Tração no escoamento (MPa)	6,2-11,5
Alongamento no escoamento (%)	100-800
Resistência à tração (MPa)	6,9-16
Alongamento máximo (%)	100-800
Módulo elástico (MPa)	102-240
Dureza (Shore D)	40-50

Fonte: Coutinho et al., (2003)

Segundo Paoli (2008), os polímeros estão expostos a diversos tipos de intemperismos ou solicitações durante o processo produtivo, processamento e uso, os quais podem iniciar as reações de degradação. Existem maneiras diferentes de iniciação do processo de degradação: as independentes (térmica, fotoquímica e por radiação de alta energia) e as que ocorrem sempre de modo associado (mecânica, termo-mecânica, química e stress-cracking).

- **Térmica:** devido aos polímeros serem bons isolantes térmicos, o tempo de exposição e a velocidade de aquecimento exercerá efeito na sua estabilidade térmica. Pode ser citado, como exemplo, o polietileno. Caso o material fique exposto a uma temperatura de 50°C durante alguns minutos não causará nenhuma reação química de degradação, no entanto, se eles forem expostos a essa temperatura durante horas se observará um amarelecimento típico de processos de termo-oxidação.
- **Foto-química:** para que ocorra esta reação é necessário ter a geração de um estado excitado de uma molécula ou espécie química, a qual pode ocorrer por incidência da luz sobre o polímero.
- **Radiação de alta energia:** radiação eletromagnética com energia quântica ou cinética superior às energias de dissociação de ligações químicas, podendo ser citado como exemplo o Raio-X.
- **Mecânica:** é induzida pelas mudanças químicas por esforços de cisalhamento, independente da temperatura.
- **Química, foto-química e termo-química:** este tipo de degradação pode ser dividida em: agentes externos (óleos lubrificantes, combustíveis ou fluidos hidráulicos em tubos e vedações, migração ou contato de polímeros com óxidos metálicos, conteúdo sólido ou líquido de embalagens, ataque químico por poluentes atmosféricos, soluções de lavagem e de esterilização, hidrólise, etc) e agentes internos (contaminações resultantes do processo de polimerização, resíduos de catalisador, aditivos, cargas, agentes de cor e componentes da formulação em geral). Muitos desses fatores são ativados pela luz e/ou calor, por isso, foto e termo-química.
- *Stress-cracking:* degradação resultante da associação de diversos fatores.

2.3.2.1 Sacola plástica – plástico mole

As sacolas plásticas são utilizadas em nosso dia a dia, principalmente para o transporte de mercadorias as quais, segundo Nascimento (2011), foram introduzidas nos anos 70 e se tornaram populares através da distribuição gratuita nos supermercados e comércio em geral, sendo ainda, utilizadas nas residências para o acondicionamento de resíduos domésticos.

Atualmente, há várias discussões e posicionamentos quanto à utilização das sacolas plásticas em supermercados. Vários países e cidades aderiram à política de retirada de sacos plásticos do comércio. Segundo Barbosa (2012), a Itália foi o primeiro país da Europa a proibir as sacolas de polietileno, vigorando a lei a partir de janeiro de 2011, e, assim, deixando de fornecer cerca de 20 bilhões de sacolas por ano. A Cidade do México a partir de 2010 também proibiu o fornecimento de sacolas plásticas, e caso o comerciante descumpra a lei, poderá receber multa que varia de 4,4 mil a 90 mil dólares. Na Alemanha, o uso de sacolas reutilizáveis ou caixas para o acondicionamento de compras no supermercado virou hábito, mas caso alguém queira levar as compras em sacolas plásticas, deve pagar pela mesma cerca de 5 a 10 centavos de euro cada. Outros países como Ruanda, Índia, China, Bangladesh, Irlanda, Austrália, África do Sul e algumas cidades dos Estados Unidos como São Francisco e Washington também possuem alguma legislação que bane a utilização das sacolas plásticas ou apenas a conscientização da população na utilização das mesmas.

No Brasil, registram-se algumas iniciativas na proibição, ou na substituição, de sacolas plásticas convencionais por sacolas reutilizáveis ou biodegradáveis, tendo, como exemplos, as cidades de João Pessoa/PB, Curitiba/PR, Londrina/PR, Porto Alegre/RS, Canoas/RS, Americana/SP, Sobral/CE, Belo Horizonte/MG e Rio de Janeiro/RJ (VIANA, 2010), porém essas iniciativas se encontram bem tímidas e ainda o consumo de sacolas plásticas é elevado em todo o País.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo foram abordados os materiais, bem como os métodos utilizados para a execução das análises de força de tração do plástico mole, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (*Energy Dispersive Spectroscopy* – EDS) do plástico mole, e das análises químicas do lixiviado.

3.1 PLÁSTICO MOLE

A espécie de plástico mole utilizado neste trabalho foram sacolas plásticas obtidas em um supermercado da região metropolitana de Curitiba, Paraná. Todas foram coletadas do mesmo lote e fabricadas com polietileno de baixa densidade (PEBD).

Na Figura 14 é possível observar a sacola plástica utilizada para a realização dos ensaios de tração.



Figura 14 – Sacola plástica utilizada

Fonte: Autoria própria

Para o experimento, as sacolas plásticas foram cortadas em tiras com auxílio de um vidro, esquadro, régua, lâmina de barbear e caneta. Todos os lados foram cortados, deixando a sacola plástica em forma retangular, em sequência, foi medida a largura da tira de plástico

mole (0,5 cm e 1,0 cm) e com auxílio do esquadro e da lâmina foi executado o corte (Figura 15).

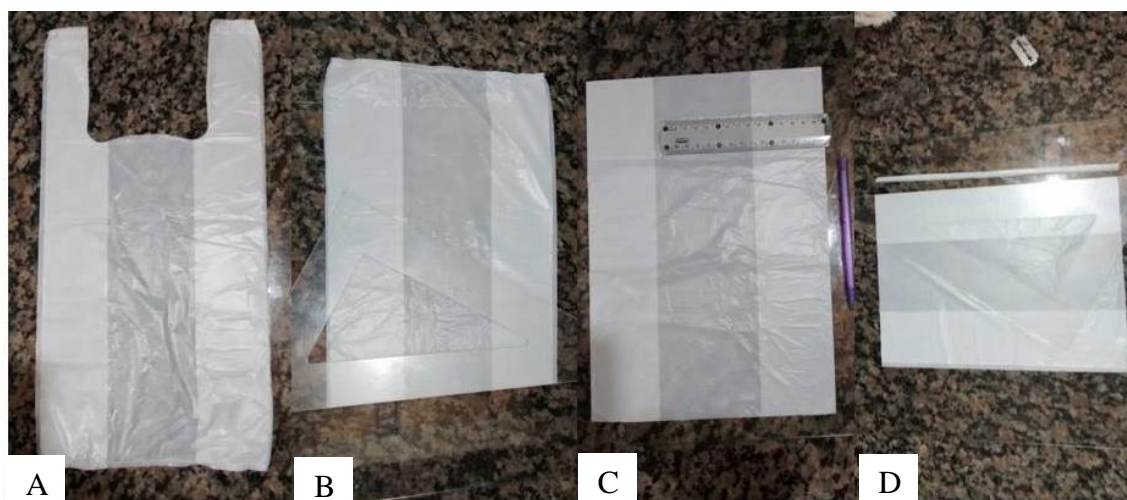


Figura 15 – Etapas para o corte das tiras de plástico. A) Sacola plástica inteira. B) Sacola plástica com os lados cortados. C) Marcação. D) Corte das tiras

Fonte: Autoria própria.

Com esta etapa executada, as tiras de plástico mole foram divididas conforme a distância entre as ancoragens (ponto onde a tira de plástico mole é presa para o ensaio de tração) que seriam submetidas. Para a distância entre as ancoragens de 21 cm a tira foi deixada do comprimento inicial da sacola plástica (aproximadamente 25 cm); para a distância entre as ancoragens de 7 cm a tira foi cortada na metade do comprimento inicial, e para a distância entre as ancoragens de 0 cm a tira foi reduzida para um quarto do comprimento inicial.

3.2 COLETA DO LIXIVIADO

O lixiviado foi coletado em um aterro sanitário próximo à Curitiba o qual, estava em operação no momento da coleta há aproximadamente quatro anos. Segundo Fanini (2008), a região de Curitiba encontra-se, aproximadamente, a 934 metros de altitude, com clima temperado ou subtropical úmido, sem estação seca, com verões frescos e invernos com geadas frequentes, apresentando temperaturas médias de 22°C no verão e 10°C no inverno.

A coleta do lixiviado ocorreu na segunda quinzena do mês de setembro de 2014, período com altos índices pluviométricos, como pode ser observado na Figura 16. Os dados de pluviometria foram fornecidos pela empresa responsável pelo aterro, a qual possui uma estação meteorológica no local.

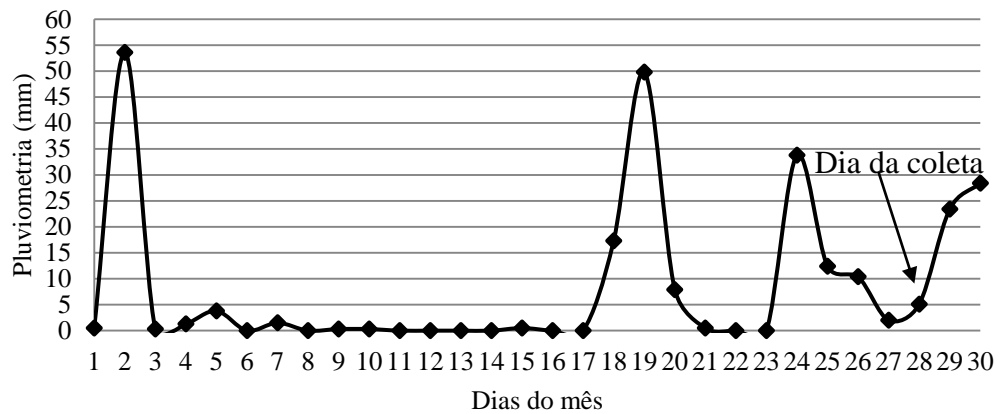


Figura 16 – Índice pluviométrico do mês de setembro de 2014

Fonte: Andrades (2015)

O material foi coletado na tubulação de saída do tanque de armazenamento do lixiviado, o qual foi depositado primeiramente em um balde de 10 litros (Figura 17) e transferido para galões de 5 litros (Figura 18). O lixiviado apresentava aspecto levemente viscoso, escuro e com odor desagradável, características geralmente exibidas por este tipo de material.



Figura 17 – Ponto de coleta

Fonte: Autoria própria



Figura 18 – Transferência do lixiviado para os galões de 5 litros

Fonte: Autoria própria

Realizou-se no instante da coleta a medição do pH e da temperatura com o equipamento *professional plus handheld multiparameter*, da marca YPI (Figura 19). Em seguida, o material foi transportado até o laboratório de mecânica dos solos da UTFPR – Curitiba (Sede Ecoville) e acondicionado em geladeira para subsequente utilização, visto que, o lixiviado permanecendo em temperatura ambiente pode sofrer alterações das características químicas, devido a atividade microbológica.



Figura 19 – Equipamento *professional plus handheld multiparameter* utilizado para medir pH

Fonte: Autoria própria

3.3 ANÁLISE QUÍMICA DO LIXIVIADO

No dia seguinte após a coleta, retirou-se uma amostra do lixiviado deixando-a em temperatura ambiente para posterior execução das análises químicas, as quais foram realizadas no laboratório de saneamento da UTFPR – Curitiba (Sede Ecoville).

As análises realizadas foram de demanda química de oxigênio (DQO), alcalinidade e ácidos voláteis, utilizando a metodologia do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998), nitrogênio amoniacal e fósforo total empregando a metodologia descrita para o equipamento Hanna 83099, e pH, com o mesmo peagâmetro utilizado no dia da coleta.

3.3.1 Demanda Química de Oxigênio

Para a realização da análise de DQO foi necessário diluir a amostra 25 vezes (Figura 20).



Figura 20 – Diluição do lixiviado em 25 vezes

Fonte: A autoria própria

Após a diluição, foram adicionados, em quatro tubos, 1,5 ml de solução oxidante de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) + 3,5 ml de solução catalítica ($Ag_2SO_4+H_2SO_4$) + 2,5 ml da amostra diluída, sendo que em um dos tubos foi adicionado água destilada ao invés da amostra diluída (branco) (Figura 21A). Na sequência, os tubos foram levados para um bloco digestor por duas horas a $150^\circ C$ (Figura 21B). Depois da digestão, as amostras foram guardadas em local com ausência de luz até atingirem a temperatura ambiente. Em seguida, as amostras fo-

ram transferidas para cubetas para a análise de absorvância no equipamento *Espectrofotômetro 600 Plus*, da marca FENTO (Figura 21C), com comprimento de onda (λ) de 620 nm. Com as absorvâncias adquiridas foi calculada a média e realizados os cálculos da concentração de DQO.

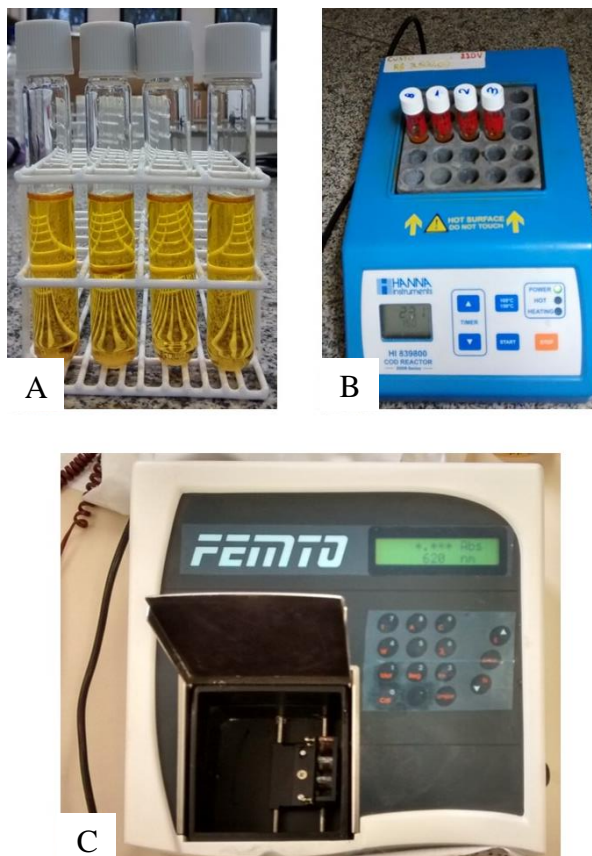


Figura 21 – A) Tubos com solução de oxidante + solução catalítica + amostra, prontas para digestão. B) Digestão das amostras. C) Espectrofotômetro utilizado na leitura de absorvância

Fonte: Autoria própria

3.3.2 Alcalinidade

Para a análise da alcalinidade foram separados 50 ml de amostra, sem estar diluída, em um Becker, sendo o pH aferido e reduzido a 5,75 com ácido sulfúrico (H_2SO_4) anotando o volume gasto, após esse procedimento adicionou-se H_2SO_4 para redução do pH a 4,3 e, também, anotado o volume utilizado. Em seguida o pH foi reduzido a um valor menor que 3 para a amostra ser utilizada na análise de ácidos voláteis. As análises foram realizadas em duplicata. Na Figura 22, é possível observar o conjunto utilizado para a realização da análise de alcalinidade.



Figura 22 – Conjunto de equipamentos utilizados para análise de alcalinidade

Fonte: Autoria própria

3.3.3 Ácidos Voláteis

As amostras utilizadas para determinação da alcalinidade foram fervidas por três minutos para serem utilizadas na determinação de ácidos voláteis. Após fervura estas foram deixadas em um recipiente com areia grossa para que atingissem a temperatura ambiente. Em seguida foi adicionado NaOH (hidróxido de sódio) até pH 4 e posteriormente até 7, anotando a quantidade consumida para elevar o pH de 4 a 7. As análises foram realizadas em duplicata. Na Figura 23 é possível observar o conjunto utilizado para a realização da análise de ácidos voláteis.



Figura 23 – Conjunto de equipamentos utilizados para análise de ácidos voláteis
Fonte: Autoria própria

3.3.4 Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total

As análises de nitrogênio amoniacal e fósforo total foram executadas com o equipamento Hanna 83099 (Figura 24).

Foi necessário diluir a amostra 1000 vezes, pois o equipamento não detecta concentrações elevadas. Para cada análise foram coletados 10 ml de amostra diluída, com auxílio de uma pipeta graduada, vertidas em cubetas específicas para o equipamento, sendo posteriormente, realizado um dos procedimentos a seguir, de acordo com o tipo de análise.

Para nitrogênio amoniacal foi adicionado à cubeta quatro gotas do reagente A e, quatro gotas do reagente B. O comprimento de onda utilizado foi de 420 nm.

Para o fósforo total foi adicionado 10 gotas do reagente A (molibdato) e, um pacote do reagente B (aminoácido). O comprimento de onda utilizado foi de 525 nm.

Logo em seguida, para os dois casos, colocou-se a cubeta no espectrofotômetro para a leitura da absorbância.



Figura 24 – Equipamento utilizado para análise de nitrogênio amoniacal e fósforo total
Fonte: Autoria própria

3.4 IMERSÃO DO PLÁSTICO MOLE NO LIXIVIADO

O plástico mole foi colocado em recipientes de plástico etiquetados (Figura 25), adicionando entre 100 ml (recipiente menor) e 200 ml (recipiente maior) de lixiviado em cada (Figura 26). Vale salientar que cada embalagem comportou 20 tiras, ou seja, 10 tiras para realização do ensaio com taxa de carregamento de $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ e 10 tiras para realização do ensaio com taxa de carregamento de $4 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Após este procedimento, as embalagens foram armazenadas na geladeira, com temperatura média de 5°C . A opção de deixar as amostras na geladeira foi devido a dois fatores: eliminar a variável temperatura, a qual influencia na degradação do plástico mole, e minimizar a atividade microbológica a qual também influencia na degradação do plástico.



Figura 25 – Recipientes contendo o plástico mole, todos etiquetados
Fonte: Autoria própria



Figura 26 – Recipientes contendo o plástico mole e lixiviado, etiquetadas

Fonte: Aatoria própria

3.5 ENSAIO DE FORÇA DE TRAÇÃO DO PLÁSTICO MOLE

O equipamento utilizado no ensaio de tração foi uma prensa (WILLE GEOTECHNIK – UL60) em conjunto com um anel; dois transdutores; quatro dispositivos elaborados para segurar as tiras de plástico mole; sistema de aquisição de dados e um computador (Figura 27).



Figura 27 – Visão geral da bancada utilizada para os ensaios de tração do plástico mole

Fonte: Aatoria própria

O anel foi fabricado com poliamida especificamente para a realização dos ensaios, com dimensões de 165 mm de diâmetro, 5,4mm de espessura e 25,5mm de largura (Figura 28).

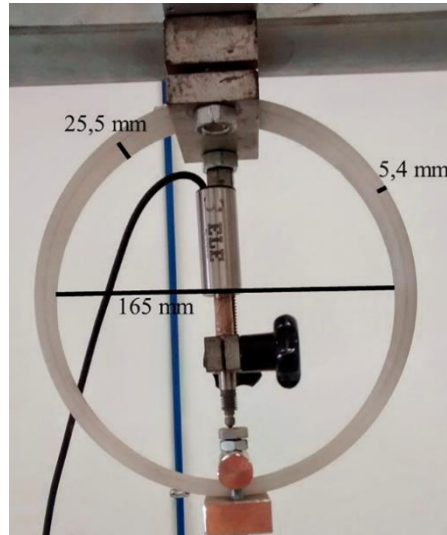


Figura 28 – Anel de poliamida

Fonte: Autoria própria

Os transdutores do tipo LVDT (*linear variable differential transducer*) foram utilizados para as leituras de deslocamento da prensa (GEFRAN modelo PZ-34-S-2) e tensão de tração (ELE modelo M921137D813-02) (Figura 29).



Figura 29 – Transdutores

Fonte: Autoria própria

As tiras de plástico mole foram presas ao anel que continha o transdutor de tração por um grampo. Na outra extremidade, para auxiliar o posicionamento das tiras plásticas em cima da prensa, foram elaborados dispositivos, que também continham grampos, os quais se adaptaram para as diferentes distâncias entre as ancoragens (Figura 30).



Figura 30 – Dispositivos para segurar as tiras de plástico mole

Fonte: Autoria própria

Os ensaios de tração foram delineados através do planejamento fatorial, no qual constam três fatores: largura (0,5 cm e 1 cm), distância entre as ancoragens de tração (0 cm; 7 cm; 21 cm) (Figura 31) e taxa de carregamento ($1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$; $4 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$), totalizando 12 combinações. Os ensaios foram realizados em triplicata e com frequência quinzenal por um período de 180 dias. Para melhor compreensão do percurso dos ensaios foi elaborado um fluxograma explicativo o qual está exposto na Figura 32. Nos dias de cada ensaio, os recipientes foram retirados da geladeira, sendo as tiras de plástico mole secadas com papel toalha e submetidas ao ensaio de tração.



Figura 31 – Distância entre as ancoragens

Fonte: Autoria própria

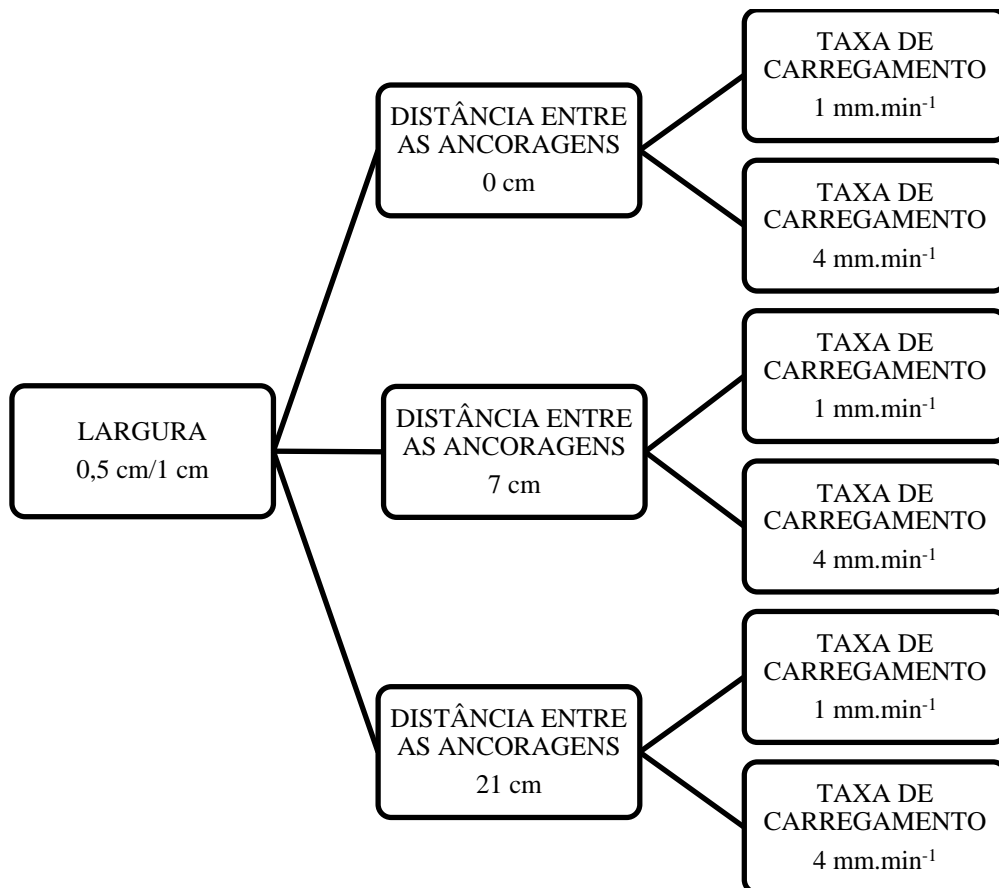


Figura 32 – Fluxograma explicativo dos ensaios de força de tração

Fonte: Autoria própria

3.5.1 Determinação do Deslocamento de Cada Ensaio

As tiras de plástico mole não foram submetidas à força de tração até o seu rompimento, mas sim até a estabilização da curva de força de tração *versus* deslocamento. Este procedimento foi necessário devido a prensa possuir deslocamento máximo de 10 cm e em decorrência disso, as tiras de plástico mole com distância entre as ancoragens de 21 cm não romperam, logo, para manter um padrão entre todas as análises, optou-se pela estabilização da curva de força de tração *versus* deslocamento, e não pelo rompimento das tiras de plástico mole.

A partir dos ensaios de força de tração com o plástico mole sem imersão no lixiviado foi determinado o deslocamento máximo aplicável à condição de contorno do ensaio (largura, distância entre as ancoragens e taxa de carregamento), o qual foi aplicado para os demais ensaios ao longo do tempo. Na Tabela 8, é possível observar o deslocamento e o tempo necessário para a estabilização da curva de força de tração *versus* deslocamento para cada ensaio. No APÊNDICE A, encontra-se o gráfico de força de tração *versus* deslocamento, o qual deu origem para a determinação do deslocamento máximo para cada ensaio.

Tabela 8 – Ensaios realizados e seu respectivo tempo e deslocamento necessário para estabilização da curva de força de tração *versus* deformação

Largura (cm)	Distância entre as ancoragens (cm)	Taxa de carregamento (mm.min ⁻¹)	Tempo de ensaio (min)	Deslocamento (mm)
1	0	1	10	10
		4	5	20
	7	1	15	15
		4	7	28
0,5	21	1	34	34
		4	12	48
	0	1	10	10
		4	4	16
	7	1	10	10
		4	10	40
21	1	34	34	
	4	13	52	

Fonte: Autoria própria

3.6 ANÁLISES DE DADOS

Para a análise dos resultados de influência do lixiviado (4.2.1), influência da largura das tiras de plástico mole (4.2.2), influência da distância entre as ancoragens (4.2.3) e influência da taxa de carregamento (4.2.4) foi calculada a média dos valores obtidos, ponto a ponto, e o valor da força de tração selecionada foi aquele correspondente ao valor máximo de deslocamento pré-definido.

Para verificar a influência do lixiviado (item 4.2.1) foram plotadas as médias obtidas ao longo do tempo para cada combinação possível dos parâmetros controlados de ensaio (largura, distância entre as ancoragens e taxa de carregamento), juntamente com o desvio padrão.

Já para a análise da influência da largura das tiras de plástico mole (item 4.2.2) foi verificado a influência que o fator largura possuía nos resultados de força de tração, ou seja, para cada combinação e em determinado período de imersão do plástico mole no lixiviado, às médias obtidas com as diferentes larguras foram comparadas.

Para a análise da distância entre as ancoragens (item 4.2.3), a comparação se deu entre a distância entre as ancoragens de 0 cm e 7 cm, entre 0 cm e 21 cm e entre 7 cm e 21 cm, para o mesmo período de tempo de imersão do plástico mole no lixiviado.

Enquanto que para a análise de influência da taxa de carregamento (4.2.4), a comparação foi realizada entre as forças de tração obtidas com a taxa de carregamento de $1 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ e a taxa de carregamento de $4 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, no mesmo tempo de imersão do plástico mole no lixiviado.

Para estas análises foi utilizado o Excel[®] 2010 e para a plotagem dos gráficos o SigmaPlot[®] 2013. A análise dos parâmetros químicos do lixiviado foi realizada com o Excel[®] 2010.

3.6.1 Análise Estatística dos Resultados

Para a análise estatística dos resultados foi utilizado o software Minitab[®]17 (versão de avaliação). A interferência do tempo de exposição do plástico mole ao lixiviado foi calculada a partir do teste t de Student, no qual a média dos resultados de cada tempo de exposição, de cada combinação dos fatores controlados (largura, distância entre as ancoragens e taxa de carregamento), foram comparados com os resultados do ensaio com o plástico mole não imerso no lixiviado. Neste caso, há realização de um teste de hipótese, em que há a hipótese nula ($H_0 = \mu_1 = \mu_2$), ou seja, não há interferência do tempo de exposição do plástico mole ao lixivi-

ado, e a hipótese alternativa ($H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$), ou seja, o tempo de exposição do plástico mole com o lixiviado influencia nos resultados. Para que H_1 seja aceita o valor-p deve ser menor ou igual a 0,05 (valor-p $\leq 0,05$), caso contrário se aceita H_0 . Esse teste foi escolhido pela frequente utilização ao comparar-se dois grupos, no presente caso antes e depois da imersão do plástico mole no lixiviado.

Para a análise estatística dos parâmetros de ensaio, largura, distância entre as ancoragens e taxa de carregamento foi utilizado o planejamento de experimento fatorial, sendo necessário informar as três observações, e não somente a média. Este planejamento foi escolhido devido à possibilidade de avaliar os fatores separadamente e em todas as combinações possíveis. Para este caso, foram apresentadas as tabelas de análise de variância (ANOVA), com o intuito de verificar quais os parâmetros e interações foram significativos para os resultados obtidos; os gráficos de efeitos principais, gráficos de interação entre os fatores e os gráficos de probabilidade normal dos resíduos, este último possibilita a verificação da normalidade dos dados obtidos de força de tração, através dos resíduos, que é a diferença entre a força de tração real e a ajustada pelo software.

3.7 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E ESPECTROSCOPIA DE ENERGIA DISPERSIVA (EDS)

A microscopia é uma forma de observar a estrutura dos materiais, sendo que no presente estudo, este ensaio teve o propósito de verificar a superfície do plástico. Já a EDS foi utilizada com o objetivo de detectar os elementos químicos presentes no material, ou seja, a microanálise química.

As amostras escolhidas para a realização desta análise foram aquelas com largura de 1 cm e distância entre as ancoragens de 7 cm por serem facilmente manuseáveis. A retirada do plástico mole para a análise ocorreu de forma aleatória, cinco dias antes da realização do ensaio, sendo o excesso do lixiviado retirado cuidadosamente e, posteriormente, enviadas para um dessecador para remoção da umidade (Figura 33).



Figura 33 – Dessecador utilizado para a retirada da umidade das tiras plástico mole

Fonte: Aatoria própria

As análises de MEV e EDS foram realizadas com o plástico mole sem imersão no lixiviado, nos dias 165, 261 e 332 de imersão. O equipamento utilizado para a análise de MEV foi o microscópio ZEISS (modelo EVO MA15) e para a de EDS foi o Oxford Instruments (modelo X-Mas) (Figura 34), acoplado ao microscópio. Ambos os equipamentos se encontram no laboratório de análises de MEV e DRX da UTFPR – Curitiba (sede).



Figura 34 – Conjunto de equipamentos para análise de MEV e EDS

Fonte: Aatoria própria

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, foram apresentados os resultados obtidos nos ensaios de força de tração do plástico mole, bem como as análises químicas do lixiviado, estatística e as análises de MEV e EDS.

4.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO LIXIVIADO

Os resultados das análises químicas do lixiviado, as quais foram realizadas em paralelo aos ensaios de tração, podem ser observados na Figura 35, seus respectivos valores encontram-se no APÊNDICE C.

Nota-se que a DQO (demanda química de oxigênio) sofreu variação, sendo a maior concentração encontrada aos 150 dias de imersão ($6808,33 \text{ mg O}_2\text{.L}^{-1}$) e a menor foi detectada aos 120 dias de imersão ($1691,67 \text{ mg O}_2\text{.L}^{-1}$). Esta variação pode ser atribuída a problemas detectados com as soluções utilizadas na análise, interferindo, assim, diretamente nos resultados.

A alcalinidade total também sofreu algumas variações, sendo que a maior concentração foi registrada aos 180 dias de imersão ($2050,7 \text{ mg.L}^{-1}$).

As concentrações de ácidos voláteis foram elevadas no início, porém apresentaram uma redução significativa nos demais ensaios. A maior concentração foi encontrada aos 30 dias ($1393,94 \text{ mg.L}^{-1}$) e a menor aos 150 dias ($182,32 \text{ mg.L}^{-1}$).

As concentrações de nitrogênio amoniacal reduziram ao longo do tempo, iniciando com concentração de 2110 mg.L^{-1} e terminando com 560 mg.L^{-1} , fato explicado pela volatilização da amônia não dissociada presente no lixiviado (MOURA, 2008). Já o fósforo total manteve-se na faixa de 100 a 300 mg.L^{-1} .

A variação encontrada nos parâmetros pode ser atribuída a erros analíticos, e também possivelmente por heterogeneidade e volatilização do material.

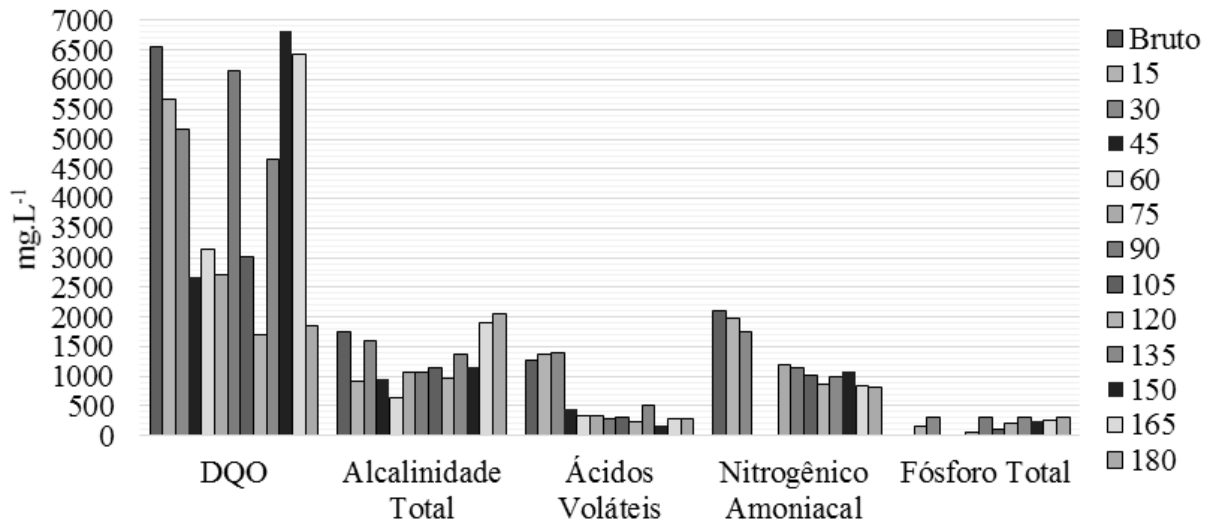


Figura 35 – Características químicas do lixiviado ao longo do tempo

Fonte: Autoria própria

O pH manteve-se em todo o período de avaliação na faixa alcalina, registrando no dia da coleta 8,3. Os demais resultados foram superiores a este, sendo o maior valor (9,99) registrado aos 150 dias (Figura 36).

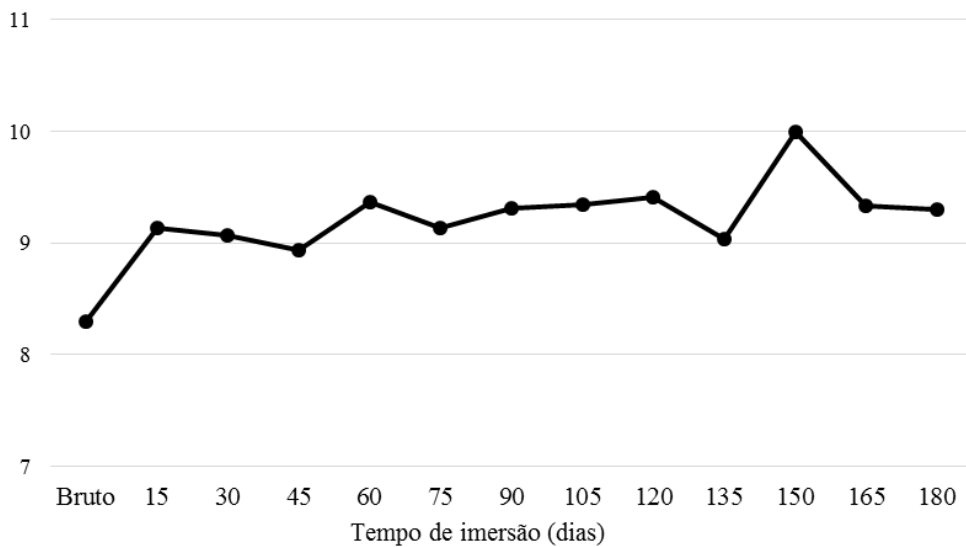


Figura 36 – pH do lixiviado ao longo do tempo

Fonte: Autoria própria

4.2 ENSAIOS DE FORÇA DE TRAÇÃO

Com os resultados de força de tração obtidos para cada ensaio, foi possível realizar quatro análises, sendo elas, a influência do lixiviado no plástico mole com o tempo de exposi-

ção, influência da largura nos resultados de força de tração, da distância entre as ancoragens e taxa de carregamento. Os valores de força de tração considerados para a apresentação e discussão dos resultados foi o valor de força de tração correspondente para o deslocamento máximo da prensa, pré-determinado para cada ensaio, sendo calculada a média das três observações e o desvio padrão (APÊNDICE B).

4.2.1 Influência do Lixiviado

A influência do lixiviado nos resultados de força de tração foram analisadas, ou seja, os valores de força de tração sob as mesmas condições de largura, distância entre as ancoragens e taxa de carregamento, foram comparadas ao longo do tempo de exposição do plástico mole ao lixiviado. Para melhor compreender a discussão dos resultados neste subitem, os valores de força de tração tomados como padrão, e posteriormente comparados com os demais resultados, foram as forças de tração obtidas com o plástico mole não imerso no lixiviado, sendo que em cada tempo de imersão o respectivo desvio padrão foi apresentado. Pode ser observada nas Figuras 37 a 39, a comparação entre as forças de tração obtidas a cada 15 dias, em diferentes condições (largura, distância entre as ancoragens e taxa de carregamento).

Observa-se na Figura 37A, na combinação da largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 0 cm e taxa de carregamento de $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, que a força de tração padrão resultou em 2,746 N, sendo que as forças de tração resultantes aos 45, 75, 90, 105, 120, 135 e 165 dias de imersão foram superiores a este valor. O resultado mais expressivo foi encontrado aos 45 dias, no qual foi obtido força de tração cerca de 23,89% maior em relação a força de tração padrão. As forças de tração aos 15, 30, 60, 150 e 180 dias de imersão foram inferiores à força de tração padrão, sendo que aos 15 dias registrou-se força de tração de 1,976 N.

Na Figura 37B, com combinação largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 0 cm e taxa de carregamento de $4 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, as forças de tração aferidas com o plástico mole imerso no lixiviado foram todas superiores a força de tração padrão. As forças de tração que mais se destacaram, foram aos 105 dias (5,095 N) e 180 dias (5,086 N), isto é, foram cerca de 45,06% e 44,96% superiores à força de tração padrão.

Forças de tração registradas ao longo do tempo, nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 7 cm e taxa de carregamento de $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (Figura 37C) foram menores à força de tração padrão, exceto aos 150 e 180 dias, as quais foram superiores 6,16% e 14,33%, respectivamente. A menor força de tração obtida foi aos 30 dias (1,246 N), cerca de 47,25%, em relação a força de tração padrão.

Nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 7 cm e taxa de carregamento de $4 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ (Figura 37D) as forças de tração aos 45, 60, 90, 105, 120, 150, 165 e 180 dias foram superiores à força de tração padrão, sendo que, as forças de tração que mais se destacam são aos 150 e aos 180 dias (2,942 N e 2,905 N, respectivamente), ou seja, cerca de 28,72% e 27,81%, superiores. A menor força de tração foi registrada aos 15 dias, cerca de 33,38% inferior a força de tração padrão.

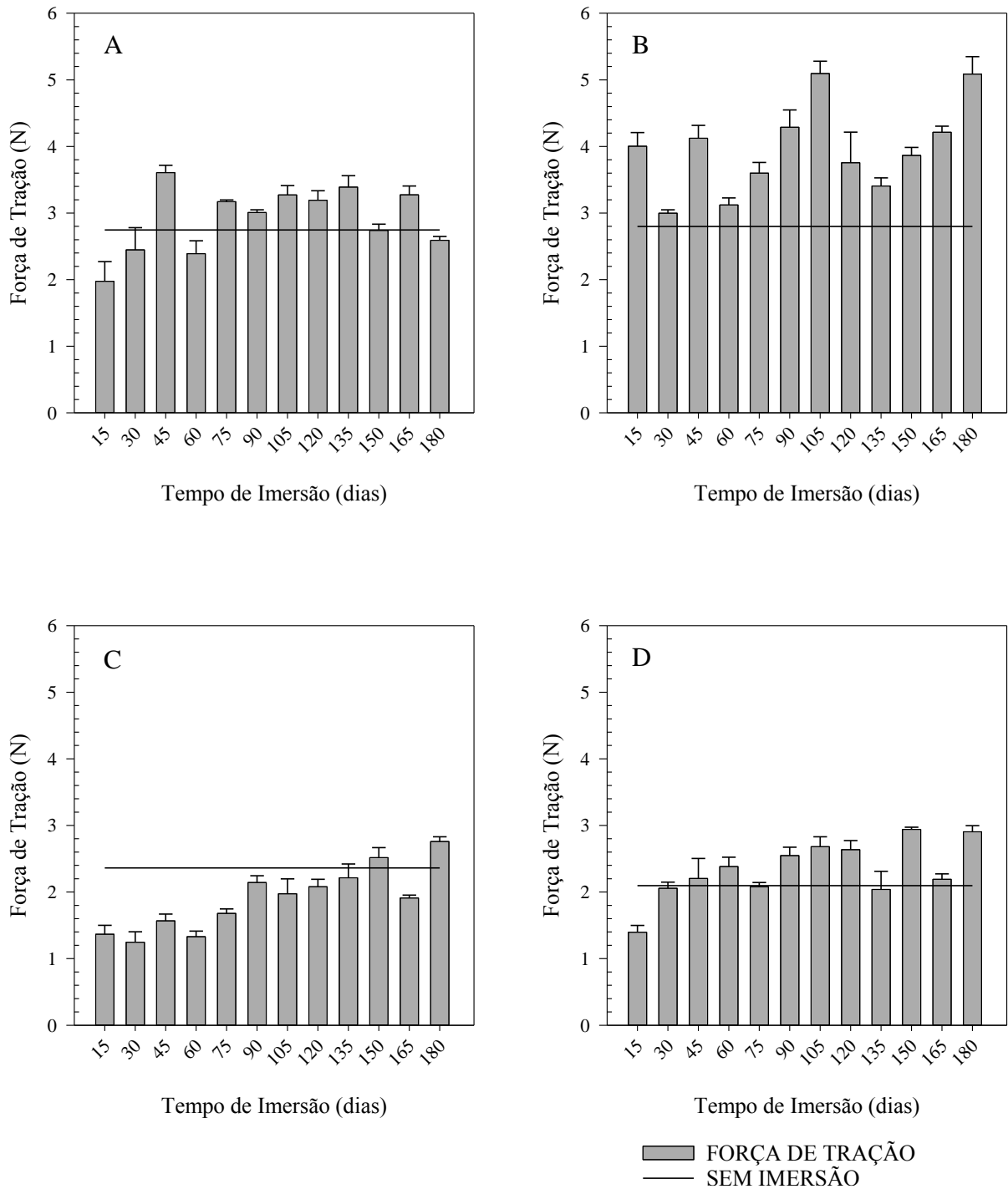


Figura 37 – A) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 0 cm e taxa de carregamento de 1 mm.min⁻¹. **B)** Força de tração obtida nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 0 cm e taxa de carregamento de 4 mm.min⁻¹. **C)** Força de tração obtida nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 7 cm e taxa de carregamento de 1 mm.min⁻¹. **D)** Força de tração obtida nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 7 cm e taxa de carregamento de 4 mm.min⁻¹

Fonte: Autoria própria

Nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 21 cm e taxa de carregamento de $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (Figura 38A), aos 105 e 120 dias foram registrados os valores mais significativos da série, cerca de 36,34% e 29,14%, respectivamente, superiores à força de tração padrão. As menores forças de tração foram encontradas aos 45 e 150 dias, ou seja, 40,81% e 26,13%, respectivamente, inferiores à registrada para a força de tração padrão.

Na Figura 38B, nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 21 cm e taxa de carregamento de $4 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, destacam-se os resultados aos 90, 105, 120 e 150 dias. O resultado mais relevante foi aos 105 dias (3,015 N), cerca de 25,64% superior à força de tração padrão. As forças de tração registradas aos 15, 30, 45, 60 e 180 dias foram inferiores a força de tração padrão, dando destaque a força de tração aos 45 dias, sendo 28,1% menor.

Para os ensaios com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 0 cm e taxa de carregamento de $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (Figura 38C) houve pico aos 45 dias, sendo este resultado o mais expressivo da série (2,312 N), 36,33% superior a força de tração padrão. Os ensaios aos 105 e 180 dias também foram superiores a força de tração padrão, 15,16% e 5,94%, respectivamente. Nos demais tempos de imersão, foram registradas forças de tração inferiores a força de tração padrão, sendo a menor aos 60 dias, isto é, cerca de 37,02% menor.

Já na Figura 38D, todas as forças de tração foram inferiores àquela observada para a força de tração padrão, sendo que aos 105 e 180 dias as forças de tração foram bem próximas da obtida para força de tração padrão. A menor força de tração foi registrada aos 75 dias (1,391 N), 44,71% menor que a força de tração padrão.

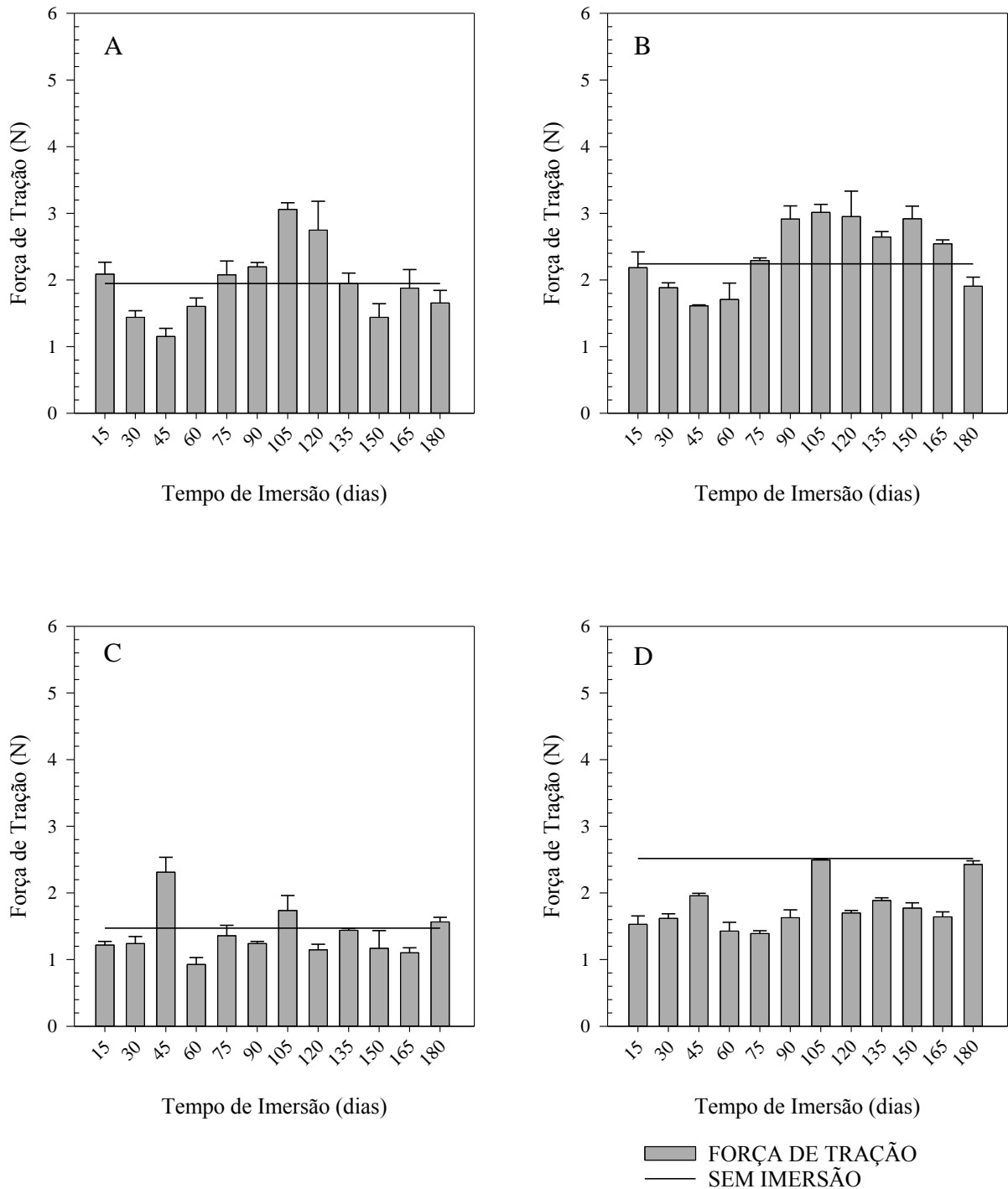


Figura 38 – A) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 21 cm e taxa de carregamento de 1 mm.min⁻¹. B) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 1 cm, distância entre as ancoragens de 21 cm e taxa de carregamento de 4 mm.min⁻¹. C) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 0 cm e taxa de carregamento de 1 mm.min⁻¹. D) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 0 cm e taxa de carregamento de 4 mm.min⁻¹

Fonte: Autoria própria

No ensaio com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 7 cm e taxa de carregamento de 1 mm.min^{-1} (Figura 39A), observa-se aos 165 dias de imersão o resultado mais expressivo da série (1,271 N), sendo cerca de 26,2% superior a força de tração padrão. Os resultados aos 90, 120, 135, 120, 135 e 180 dias, também foram superiores a força de tração padrão. Nos demais ensaios, foram registradas forças de tração inferiores, sendo a menor força de tração encontrada aos 30 dias (47,44%).

Para a série de resultados com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 7 cm e taxa de carregamento de 4 mm.min^{-1} (Figura 39B), os ensaios aos 15, 45, 75, 90, 105, 120, 135, 150, e 165 dias foram superiores a força de tração padrão, sendo que, os que mais se destacaram foram aos 135 e 165 dias, isto é, alcançaram diferenças de 39,02% e 35,53%, respectivamente, superiores a força de tração padrão. Nos ensaios aos 30, 60 e 180 dias de imersão, a força de tração foi inferior a força de tração padrão, sendo a mais expressiva aos 30 dias, com 41,12% de decréscimo.

Na maioria dos ensaios com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 21 cm e taxa de carregamento de 1 mm.min^{-1} (Figura 39C), as forças de tração foram superiores a força de tração padrão, exceto aos 165 dias, o qual foi inferior em 9,67%. Os ensaios que mais se destacaram foram aos 120 e 135 dias, isto é, apresentaram forças de tração cerca de 37,9% e 39,3%, respectivamente, superiores a força de tração padrão.

Aos 90 dias, no ensaio com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 21 cm e taxa de carregamento de 4 mm.min^{-1} (Figura 39D), foi registrada a maior força de tração da série (1,436 N), cerca de 27,5% superior a força de tração padrão. As menores forças de tração foram registradas aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias de imersão, os demais resultados foram todos superiores a força de tração padrão.

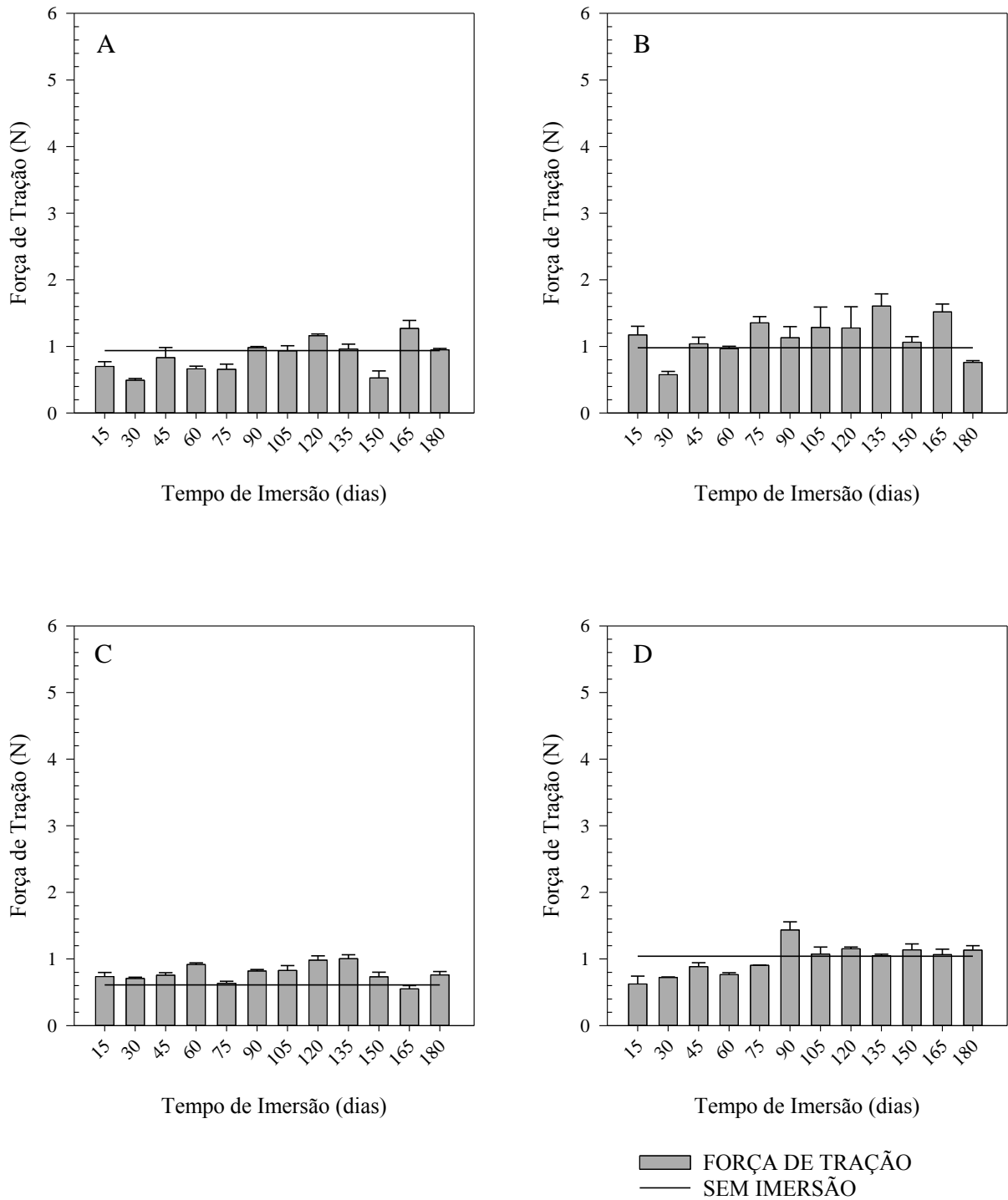


Figura 39 – A) Força de tração obtida nos ensaios com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 7 cm e taxa de carregamento de 1 mm.min⁻¹. **B)** Força de tração obtida nos ensaios com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 7 cm e taxa de carregamento de 4 mm.min⁻¹. **C)** Força de tração obtida nos ensaios com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 21 cm e taxa de carregamento de 1 mm.min⁻¹. **D)** Força de tração obtida nos ensaios com largura de 0,5 cm, distância entre as ancoragens de 21 cm e taxa de carregamento de 4 mm.min⁻¹

Fonte: Autoria própria

Houve variações entre os resultados ao longo do tempo, conclusão que é reforçada pela análise estatística dos resultados, sendo apresentada no item 4.2.5.1. Além das possíveis explicações para esta variação citadas nos próximos itens, erros analíticos também podem ter contribuído para esses resultados.

4.2.2 Influência da Largura das Tiras de Plástico Mole

A largura foi analisada separadamente, levando em consideração sua influência sobre a força de tração resultante. Os resultados do mesmo período de imersão no lixiviado foram comparados entre si, fixando a distância entre as ancoragens e a taxa de carregamento e variando apenas a largura de 1 cm e 0,5 cm.

Para todas as análises realizadas (Figura 40 e Figura 41), nota-se que as forças de tração resultante utilizando a largura de 1 cm foram superiores quando comparadas com a força de tração utilizando a largura de 0,5 cm. As maiores diferenças de forças de tração entre as larguras encontradas na Figura 40A, podem ser observadas nos ensaios aos 60, 120 e 165 dias de imersão, isto é, as forças de tração obtidas para a largura de 1 cm foram cerca de 61,24%, 64,07% e 66,33%, respectivamente, superiores à força de tração resultante com largura de 0,5 cm.

Na Figura 40B, é possível observar que aos 15, 75, 90 e 165 dias de imersão as forças de tração suportadas pela largura de 1 cm são 61,82%, 61,35%, 62% e 61,06%, respectivamente, maiores que as forças de tração suportadas pela largura 0,5 cm. Já na Figura 40C, as maiores diferenças foram encontradas aos 150 e 180 dias, 79,09% e 65,58%, respectivamente. Na Figura 40D, também foram verificadas diferenças entre as forças de tração na casa de 70% aos 30 e 180 dias.

Com os ensaios executados com distância entre as ancoragens de 21 cm e taxa de carregamento de 1 mm.min⁻¹ (Figura 41A), seguiram a mesma tendência dos ensaios anteriores, ou seja, as forças de tração com largura de 1 cm foram superiores às da largura de 0,5 cm, sendo que as maiores diferenças foram observadas aos 105 e 165 dias, 72,92% e 70,65%, respectivamente. Da mesma forma ocorreu para ensaios executados com distância entre as ancoragens de 21 cm e taxa de carregamento de 4 mm.min⁻¹ (Figura 41B), onde, as maiores diferenças foram detectadas aos 15 e 105 dias, 71,45% e 64,36%, respectivamente.

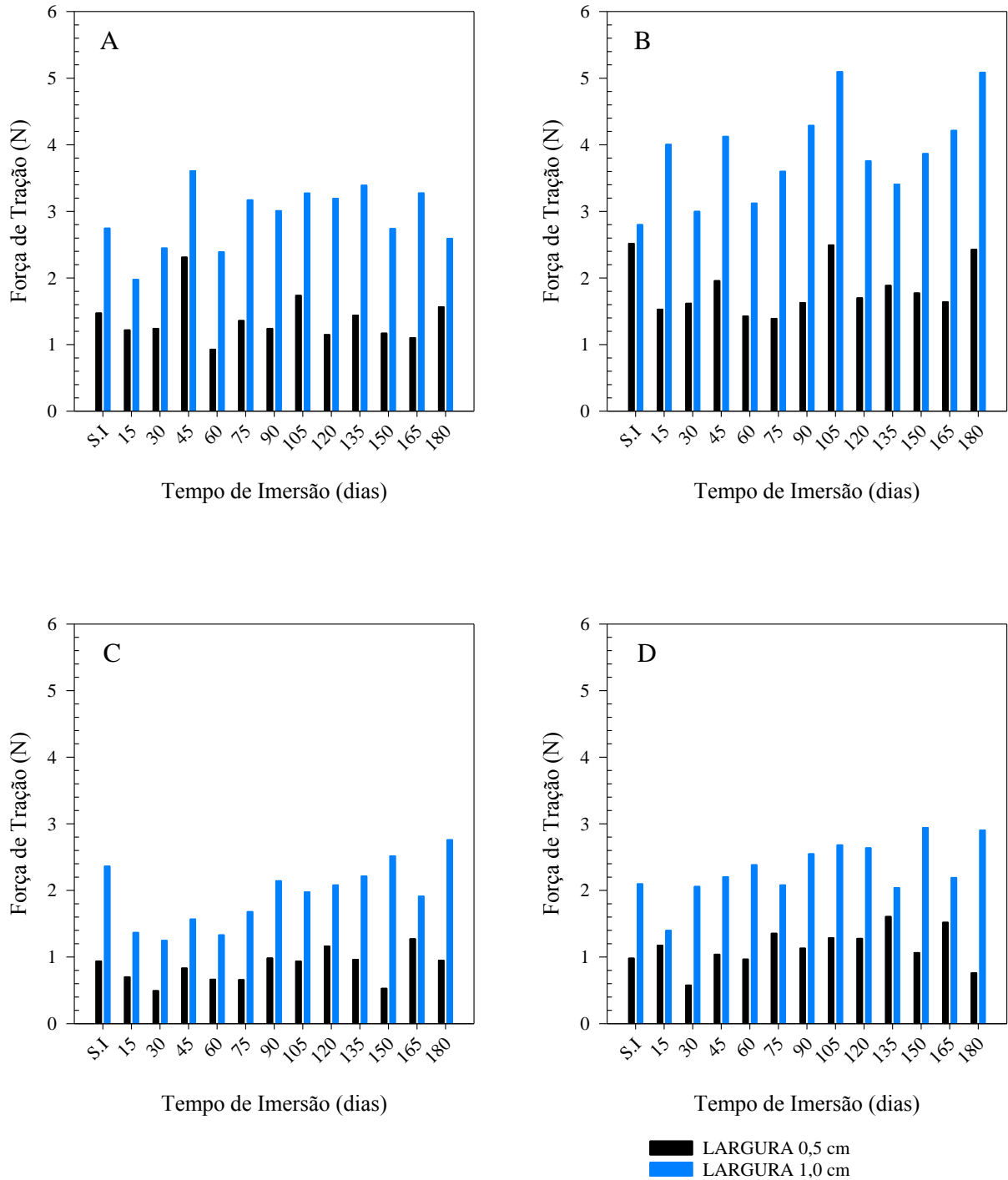


Figura 40 – A) Análise de dados fixando a distância entre as ancoragens em 0 cm e a taxa de carregamento em 1mm.min⁻¹, variando a largura. B) Análise de dados fixando a distância entre as ancoragens em 0 cm e a taxa de carregamento em 4 mm.min⁻¹, variando a largura. C) Análise de dados fixando a distância entre as ancoragens em 7 cm e a taxa de carregamento em 1 mm.min⁻¹, variando a largura. D) Análise de dados fixando a distância entre as ancoragens em 7 cm e a taxa de carregamento em 4 mm.min⁻¹, variando a largura.

Fonte: Autoria própria

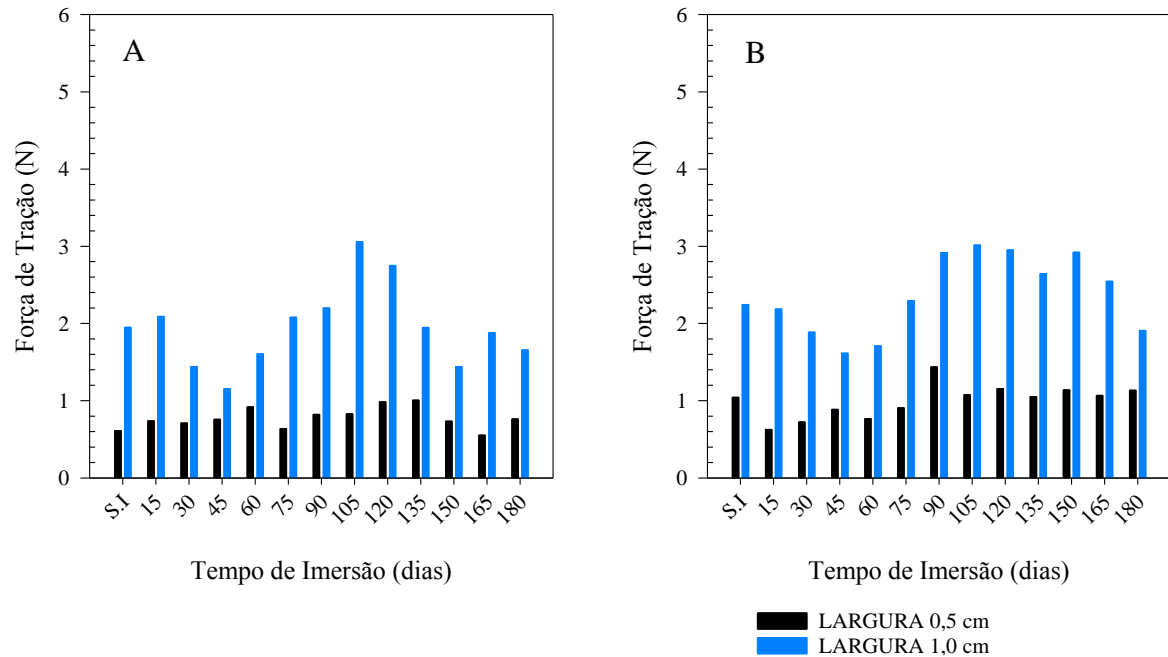


Figura 41 – A) Análise fixando a distância entre as ancoragens em 21 cm e a taxa de carregamento em 1 mm.min⁻¹, variando a largura. B) Análise fixando a distância entre as ancoragens em 21 cm e a taxa de carregamento em 4 mm.min⁻¹, variando a largura

Fonte: Autoria própria

Essa verificação condiz com a equação de força, pois quanto maior a área maior a força resultante suportada pelo material ($F = \sigma \cdot A$), notando-se diferenças acima de 50 % o que é proporcional a largura da tira de plástico mole.

Fazendo uma analogia com o plástico mole presente no maciço sanitário, pode-se afirmar que quanto maior as dimensões do plástico mole, maior será sua contribuição na resistência ao cisalhamento da massa de resíduos.

4.2.3 Influência da Distância Entre as Ancoragens

A distância entre as ancoragens também influencia nos resultados das forças de tração, podendo ser observadas na Figura 42. Para esta análise a comparação foi realizada entre as distâncias entre as ancoragens de 0 cm e 7 cm, entre a 0 cm e a 21 cm e entre a 7 cm e 21 cm, para o mesmo período de imersão do plástico mole no lixiviado.

Na Figura 42A, na qual a largura foi fixada em 1 cm e a taxa de carregamento em 1 mm.min⁻¹, é visível que a maioria das forças de tração para os ensaios com distância entre as ancoragens de 0 cm foram superiores às de 7 cm, exceto aos 180 dias, onde a distância entre as ancoragens de 7 cm foi superior em 6%. A maior diferença, entre a distância entre as anco-

ragens de 0 cm e 7 cm, foi detectada aos 45 dias, isto é, a distância entre as ancoragens de 0 cm foi 56,55% maior que a de 7 cm, e a menor diferença entre a distância entre as ancoragens de 0 cm e 7 cm foi aos 150 dias de imersão (8,16%). Na Figura 42A também se observa que as forças de tração obtidas para a distância entre as ancoragens de 7 cm foram superiores às obtidas com distância entre as ancoragens de 21 cm nos ensaios sem imersão, e aos 45, 135, 150, 165 e 180 dias de imersão, isto é, as diferenças foram de 17,54%, 26,43%, 12,13%, 42,83%, 1,74% e 40%, respectivamente. Nos demais ensaios, a força de tração obtida para a distância entre as ancoragens de 21 cm superou à força de tração obtida para a distância entre as ancoragens de 7 cm, chegando a diferença de 35,5% aos 105 dias. Comparando a distância entre as ancoragens de 0 cm com a distância entre as ancoragens de 21 cm, nota-se que todas as forças de tração obtidas para a distância entre as ancoragens de 0 cm foram superiores às forças de tração obtidas com a distância entre as ancoragens de 21 cm, chegando a diferença de 68,04% aos 45 dias de imersão do plástico mole no lixiviado, exceto aos 15 dias, onde a diferença foi de 5,36%, entre a distância entre as ancoragens de 0 cm e 21 cm (Figura 42A).

Nos ensaios com a largura de 1 cm e a taxa de carregamento de $4 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ fixas (Figura 42B) executados com a distância entre as ancoragens de 0 cm, as forças de tração foram superiores às aquelas executados com a distância entre as ancoragens de 7 cm, destacando, principalmente, os valores aos 15 e 165 dias (65,01% e 47,97%, respectivamente). A força de tração com distância entre as ancoragens de 7 cm foi superior a força de tração com distância entre as ancoragens de 21 cm nos ensaios aos 30, 45, 60, 150, e 180 dias (8%, 45%, 26,81%, 28,31%, 0,77% e 34,38%, respectivamente), sendo que a força de tração com distância entre as ancoragens de 21 cm foi superior a força de tração com distância entre as ancoragens de 7 cm nos demais ensaios, chegando a 36,1% aos 15 dias. A distância entre as ancoragens de 21 cm resultou em força de tração superior àquela obtida com distância entre as ancoragens de 0 cm para todos os ensaios, atingindo 62,51% e 60,89% aos 180 e 45 dias, respectivamente. A menor diferença entre as forças de tração da distância entre as ancoragens de 0 cm e 21 cm foi no ensaio sem imersão no lixiviado (19,88%).

Quase todas as forças de tração obtidas para a distância entre as ancoragens de 0 cm foram superiores às aquelas com a distância entre as ancoragens de 7 cm, para a largura de 0,5 cm e a taxa de carregamento fixas (Figura 42C) exceto aos 120 e 165 dias, onde força de tração com a distância entre as ancoragens de 7 cm foi superior a força de tração com a distância entre as ancoragens de 0 cm em 1,18% e 15,24%, respectivamente. Nos demais ensaios esta diferença chegou a 64,14% e 60,28%, aos 45 e 30 dias de imersão do plástico mole no lixiviado. A diferença entre as forças de tração dos ensaios com a distância entre as ancoragens de

7 cm e 21 cm chegaram a 56,61% aos 165 dias, sendo a força de tração com distância entre as ancoragens de 7 cm superior à de 21 cm. Os resultados onde a força de tração com distância entre as ancoragens de 21 cm foi superior a força de tração com 7 cm foram aos 15, 30, 60, 135 e 150 dias de imersão do plástico mole no lixiviado, chegando esta diferença a 30,45% e 28,23%, aos 30 e 150 dias, respectivamente. Todos os ensaios executados com a distância entre as ancoragens de 21 cm foram inferiores quando comparados com força de tração obtidas com distância entre as ancoragens de 0 cm. Diferenças na ordem de 60 a 50% foram registradas, como aos 45 dias (67,3%) e sem imersão (58,55%).

Para a largura de 0,5 cm e a taxa de carregamento de $4 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ fixas, todas as forças de tração obtidas para a distância entre as ancoragens de 0 cm foram superiores a força de tração obtida com a distância entre as ancoragens de 7 cm, chegando a ordem de 60%, destacando os ensaios sem imersão no lixiviado (61,05%), aos 30 dias (64,36%) e 180 dias (68,63%). Comparando a força de tração obtida com a distância entre as ancoragens de 7 cm com a de 21 cm, a força de tração com distância entre as ancoragens de 7 cm foi superior aos 15 dias (46,80%), 45 dias (14,86%), 60 dias (20,88%), 75 dias (33,26%), 105 dias (16,35%), 120 dias (9,64%), 135 dias (34,68%) e aos 165 dias de imersão (29,83%), sendo que a força de tração com distância entre as ancoragens de 21 cm foi superior a força de tração com distância entre as ancoragens de 7 cm nos demais ensaios, alcançando uma diferença de 32,84% aos 180 dias. As forças de tração com distância entre as ancoragens de 0 cm foram superiores as forças de tração com distância entre as ancoragens de 21 cm em todos os ensaios, seguindo a mesma tendência, as diferenças alcançaram patamares de 50%, como foi o caso do ensaio sem imersão, aos 15, 30, 45, 105 e 180 dias, 58,62%, 59,17%, 55,36%, 54,8%, 56,91% e 5,29%, respectivamente (Figura 42D).

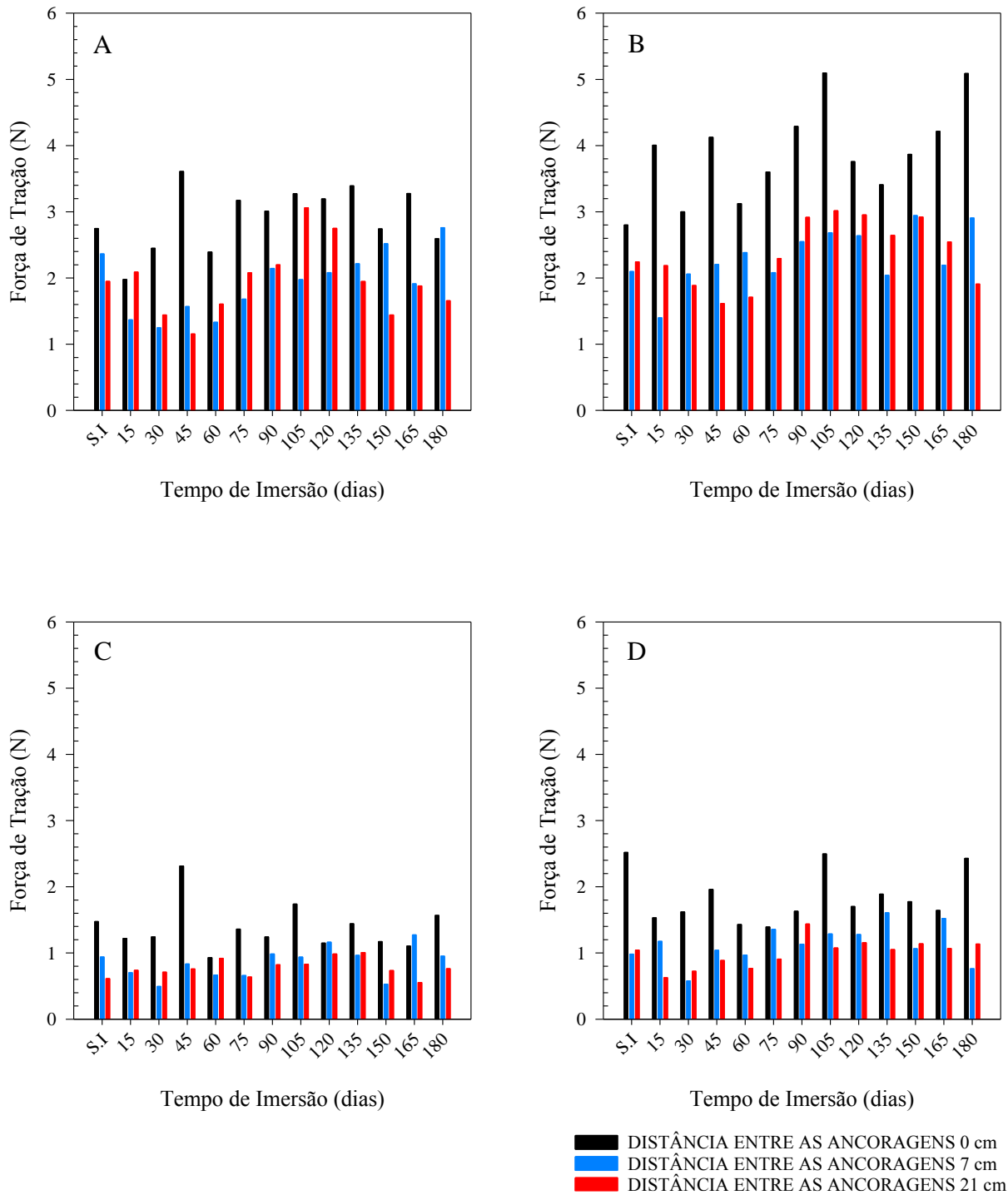


Figura 42 – A) Análise de dados fixando a largura em 1 cm e taxa de carregamento em 1 mm.min⁻¹, variando a distância entre as ancoragens. B) Análise de dados fixando a largura em 1 cm e taxa de carregamento em 4 mm.min⁻¹, variando a distância entre as ancoragens. C) Análise de dados fixando a largura em 0,5 cm e taxa de carregamento em 1 mm.min⁻¹, variando a distância entre as ancoragens. D) Análise de dados fixando a largura em 0,5 cm e taxa de carregamento em 4 mm.min⁻¹, variando a distância entre as ancoragens

Fonte: Autoria própria

É observado que a distância entre as ancoragens influencia nas forças de tração resultantes, detectando isso principalmente na comparação entre as forças de tração obtidas com distância entre as ancoragens de 0 cm e 7 cm e entre 0 cm e 21 cm. As forças de tração máximas observadas com distância entre as ancoragens de 0 cm foram superiores, na grande maioria dos casos, às com distância entre as ancoragens de 7 cm e 21 cm, mostrando que quanto menor a distância entre as ancoragens, maior a força de tração suportada pela tira de plástico mole, fato notado também por Gawlik (2014). No entanto, quando se compara as forças de tração obtidas com distância entre as ancoragens de 7 cm e 21 cm não foi possível obter uma relação, devido à variabilidade dos resultados.

Essa variação encontrada entre as forças de tração com diferentes distâncias entre as ancoragens está diretamente ligada com a dissipação de energia aplicada, quando se tem menor distância entre as ancoragens a energia fica mais concentrada e o material resiste a uma maior força de tração, enquanto que, quando se tem maior distância entre as ancoragens a energia é dissipada e o material não resiste, na mesma magnitude, a força de tração aplicada.

Em um aterro sanitário este fato pode estar ligado à compactação da massa de resíduos, se há uma boa compactação as fibras plásticas estarão em uma distância entre as ancoragens menor, interagindo mais com o restante dos resíduos, e assim otimizando a resistência ao cisalhamento proporcionado pelo material com comportamento fibroso. Investigações mais aprofundadas seriam necessárias para verificar o nível de compactação necessário para se obter uma distância entre as ancoragens próximo a 0 cm e assim promover uma maior resistência ao cisalhamento da massa de resíduos.

4.2.4 Influência da Taxa de Carregamento

A influência da taxa de carregamento é outro parâmetro envolvido no processo e pode ser analisada nas Figura 43 e Figura 44. Nesta análise, a comparação é realizada entre as forças de tração obtidas com a taxa de carregamento em $1 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ e $4 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, no mesmo tempo de imersão do plástico mole no lixiviado.

É possível observar que em grande parte dos ensaios realizados a força de tração resultante com a taxa de carregamento de $4 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ foi superior a força de tração com a taxa de carregamento de $1 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

As diferenças entre as forças de tração que mais se destacam são aos 15 e 180 dias, 50,63% e 49,04%, respectivamente (Figura 43A), aos 60 dias, 44,19% (Figura 43B), aos 150

dias, 50,72% (Figura 43C), sem imersão, 41,49% (Figura 43D), aos 75 dias, 51,46% (Figura 44A) e aos 90 dias, 47,37% (Figura 44B).

Foram verificadas algumas observações em que o contrário aconteceu, ou seja, a força de tração foi superior com a taxa de carregamento de 1 mm.min^{-1} , podendo ser citado o ensaio sem imersão e aos 135 dias, 11,25% e 7,96%, respectivamente (Figura 43B), aos 105 dias, cerca de 1,46% (Figura 43C), aos 45 dias, 15,37% (Figura 43D), aos 180 dias, 19,77% (Figura 44A) e aos 15 e 60 dias, 15,21% e 16,74%, respectivamente (Figura 44B).

As forças de tração máximas observadas nos ensaios com taxa de carregamento de 4 mm.min^{-1} foram superiores às forças de tração obtidas com taxa de carregamento de 1 mm.min^{-1} , na maioria dos casos, mostrando que essa variável interfere na força de tração resultante.

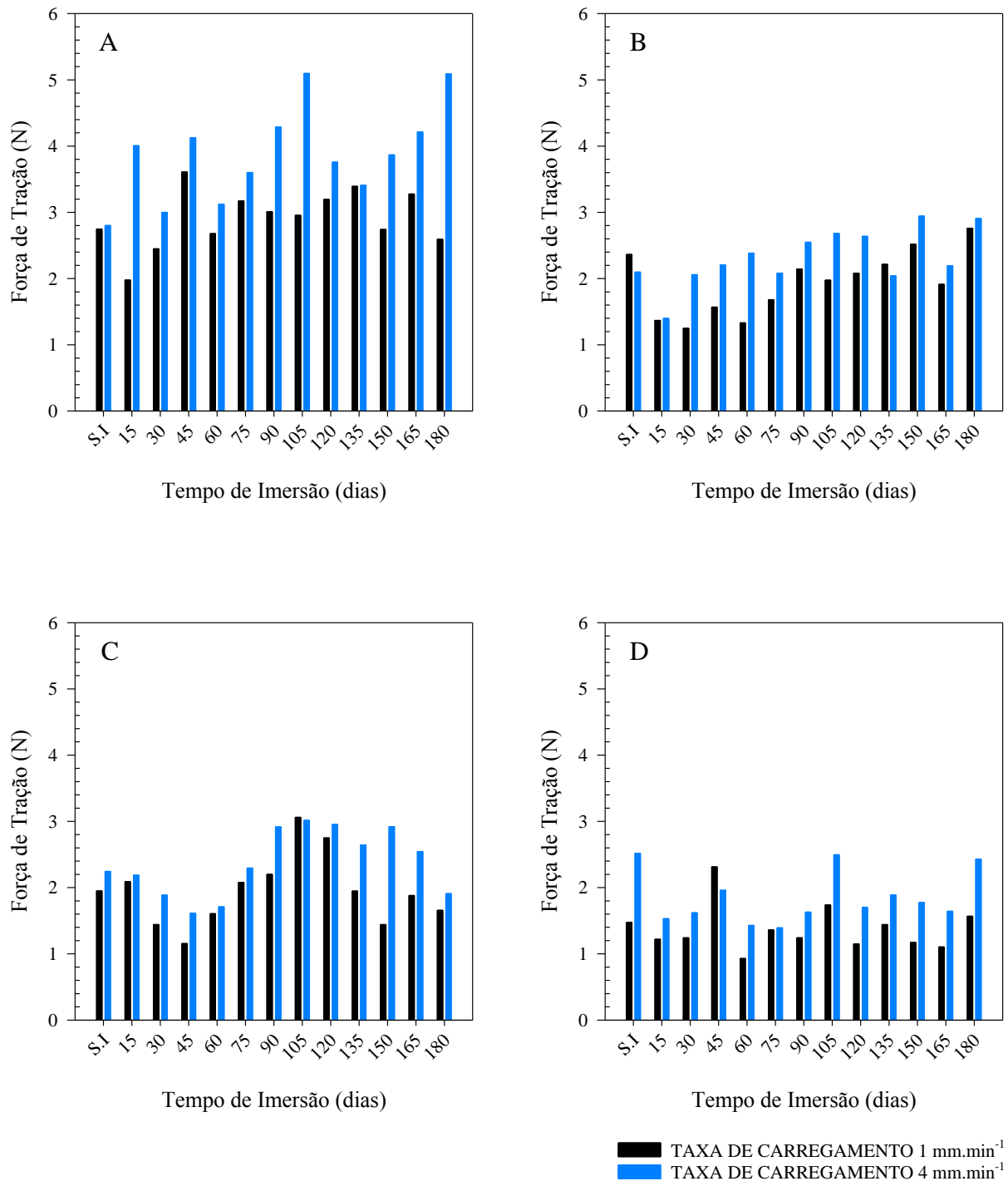


Figura 43 – A) Análise de dados fixando a largura em 1 cm e distância entre as ancoragens em 0 cm, variando a taxa de carregamento. B) Análise de dados fixando a largura em 1 cm e distância entre as ancoragens em 7 cm variando a taxa de carregamento. C) Análise de dados fixando a largura em 1 cm e distância entre as ancoragens em 21 cm, variando a taxa de carregamento. D) Análise de dados fixando a largura em 0,5 cm e distância entre as ancoragens em 0 cm, variando a taxa de carregamento.

Fonte: Autoria própria

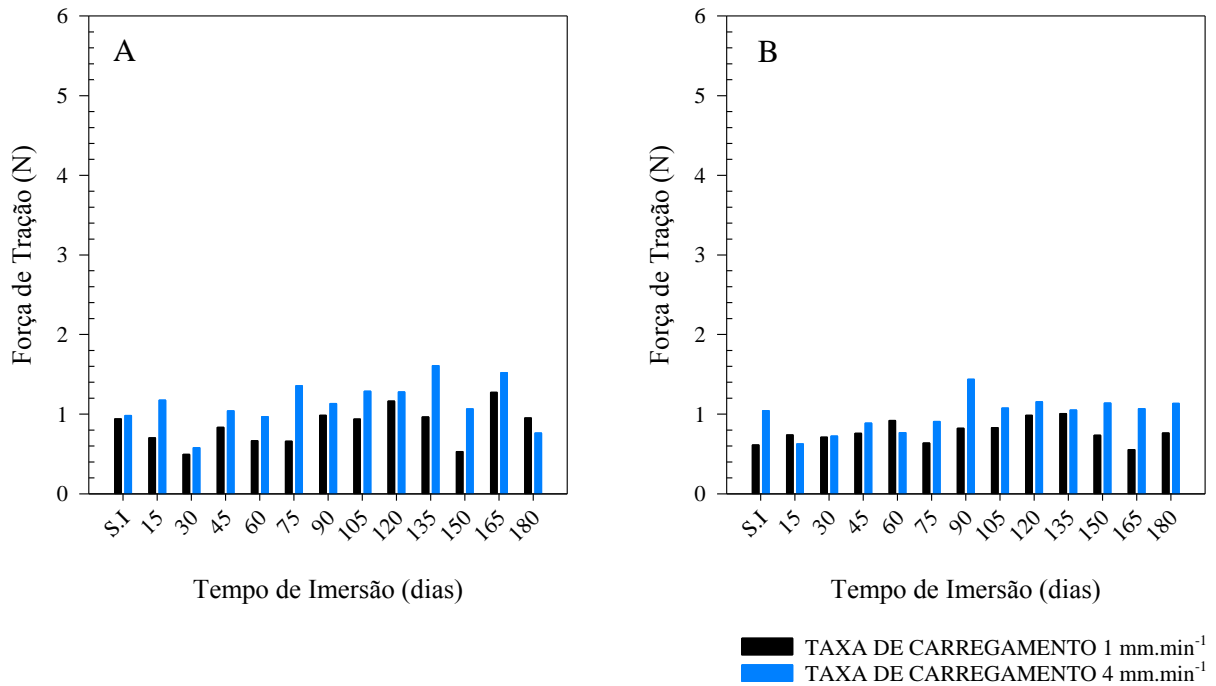


Figura 44 – A) Análise de dados fixando a largura em 0,5 cm e distância entre as ancoragens em 7 cm, variando a taxa de carregamento. B) Análise de dados fixando a largura em 0,5 cm e distância entre as ancoragens em 21 cm, variando a taxa de carregamento

Fonte: autoria própria

4.2.5 Análise Estatística dos Resultados de Força de Tração

4.2.5.1 Lixiviado

Para analisar a influência do tempo de imersão nos resultados de força de tração foi realizado o teste t, comparando os resultados obtidos do ensaio de força de tração das tiras de plástico mole sem imersão no lixiviado com os demais tempos de imersão para cada combinação (Tabela 9). Para que o fator tempo de imersão seja considerado significativo, o valor-p do teste t deve ser menor ou igual a 0,05 ($\text{valor-p} \leq 0,05$).

Observou-se aleatoriedade nos resultados, ou seja, em determinados tempos e configurações da execução do ensaio o fator tempo influenciou nos resultados obtidos, enquanto que em outros o mesmo não foi observado.

Este fato pode ser explicado pelo acúmulo aleatório de sólidos provenientes do lixiviado.

Tabela 9 – Teste t comparando o ensaio sem imersão das tiras plásticas no lixiviado aos demais tempos

Ensaio	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
L1_DA0_TC1	0,05	0,34	*0,05	0,20	0,15	0,29	0,12	0,16	0,05	0,98	0,12	0,50
L1_DA0_TC4	*0,01	0,29	*0,01	0,16	*0,02	*0,01	*0,00	0,08	0,06	*0,02	*0,01	*0,00
L1_DA7_TC1	*0,01	*0,01	*0,04	*0,02	*0,04	0,28	0,13	0,21	0,48	0,42	0,09	0,11
L1_DA7_TC4	*0,01	0,56	0,61	0,08	0,71	*0,03	*0,02	0,22	0,75	*0,00	0,20	*0,01
L1_DA21_TC1	0,43	0,06	*0,01	0,09	0,49	0,18	*0,01	0,10	0,99	0,05	0,75	0,16
L1_DA21_TC4	0,75	0,06	*0,02	*0,05	0,62	*0,02	*0,01	0,10	*0,03	*0,02	0,08	0,06
L0,5_DA0_TC1	0,13	0,14	*0,01	*0,02	0,45	0,15	0,21	0,10	0,77	0,20	0,07	0,48
L0,5_DA0_TC4	*0,01	*0,02	*0,04	*0,00	*0,01	*0,01	0,86	*0,02	*0,03	*0,03	*0,02	0,52
L0,5_DA7_TC1	*0,02	*0,01	0,37	*0,01	*0,01	0,28	0,97	*0,01	0,65	*0,03	*0,05	0,76
L0,5_DA7_TC4	0,11	*0,00	0,47	0,78	*0,01	0,28	0,09	0,26	*0,03	0,27	*0,01	*0,04
L0,5_DA21_TC1	0,08	0,10	*0,03	*0,01	0,54	*0,03	*0,03	*0,01	*0,00	0,09	0,26	*0,04
L0,5_DA21_TC4	*0,03	*0,00	0,05	*0,00	*0,01	*0,03	0,64	*0,01	0,64	0,21	0,65	0,14

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento *Valor-p \leq 0,05.

Fonte: Autoria própria

4.2.5.2 Largura, distância entre as ancoragens e taxa de carregamento

Os resultados de força de tração obtidos também foram submetidos à análise estatística para verificar a interação entre os parâmetros controlados no ensaio (largura, distância entre as ancoragens e taxa de carregamento), bem como, o parâmetro de ensaio que mais interfere para a força de tração resultante. Neste item foram expostas apenas as análises realizadas com o plástico não imerso no lixiviado e aos 180 dias de imersão, constando a tabela de análise de variância (ANOVA), o gráfico de efeitos principais e o gráfico de interação.

Na tabela da ANOVA (Tabela 10) para o ensaio realizado sem imersão do plástico mole no lixiviado o modelo fatorial se ajustou 96,53%. Pode ser observado que todos os fatores e suas interações foram significativos, ou seja, valor-p \leq 0,05, no entanto o fator que mais contribuiu para os resultados de força de tração foi o fator largura com 54,17% e, em segundo, o fator distância entre as ancoragens (29,37%).

Tabela 10 – ANOVA para ensaio realizado sem imersão do plástico mole no lixiviado

	GL	SQ (Seq)	Contribuição (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	Valor-P
MODELO	11	19,62	96,53	19,62	1,78	0,00
LINEAR	4	17,62	86,68	17,62	4,40	0,00
L	1	11,01	54,17	11,01	11,01	0,00
DA	2	5,97	29,37	5,97	2,98	0,00
TC	1	0,64	3,14	0,64	0,64	0,00
INTERAÇÕES DE 2 FATORES	5	1,69	8,34	1,69	0,34	0,00
L*DA	2	0,48	2,38	0,48	0,24	0,00
L*TC	1	0,51	2,54	0,51	0,51	0,00
DA*TC	2	0,69	3,42	0,69	0,35	0,00
INTERAÇÕES DE 3 FATORES	2	0,31	1,51	0,31	0,15	0,01
L*DA*TC	2	0,31	1,51	0,31	0,15	0,01
ERRO	24	0,71	3,47	0,71	0,03	
TOTAL	35	20,33	100			

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

Fonte: Autoria própria

Na Figura 45, pode ser observado os efeitos principais que ocorrem quando o nível de um fator é alterado. Dentro do fator largura, quando o nível é alterado de 0,5 cm para 1 cm a média da força de tração cresce. No que diz respeito ao fator distância entre as ancoragens, nota-se que quando o nível é aumentado, a média da tração é reduzida, sendo a diferença bem visível entre os níveis 0 cm/7 cm e 0 cm/21 cm, enquanto que a mudança de nível de 7 cm para 21 cm não é tão acentuada. Quanto à taxa de carregamento, nota-se que quando o nível passa de 1 mm.min⁻¹ para 4 mm.min⁻¹ a média da força de tração cresce.

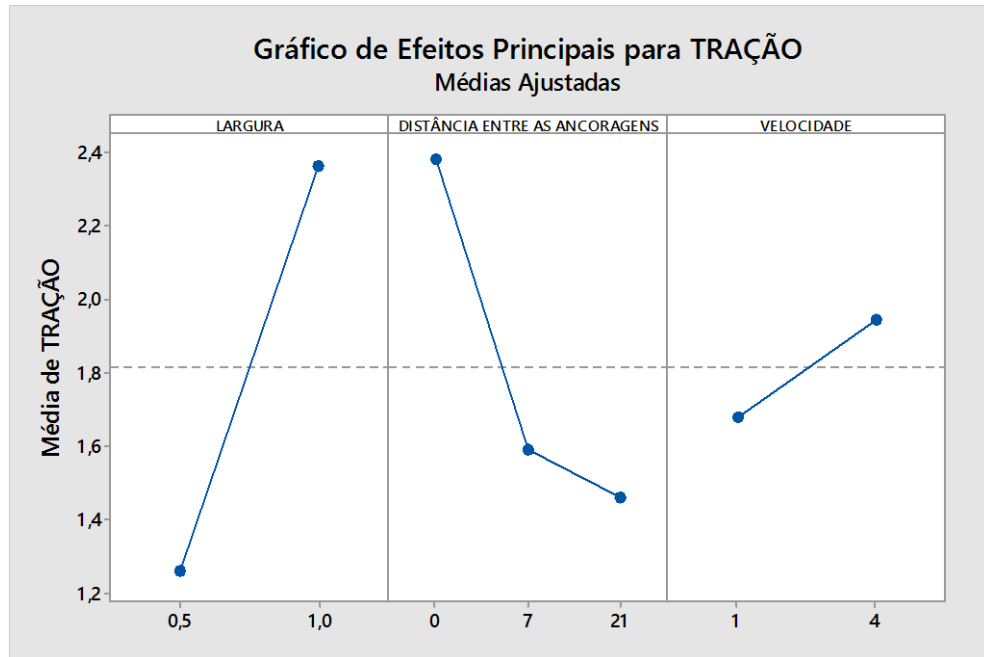


Figura 45 – Efeitos principais para o ensaio realizado sem imersão no lixiviado

Fonte: Autoria própria

As interações entre os fatores podem ser observadas na Figura 46. Quando a interação entre largura e distância entre as ancoragens é observada, nota-se que, independentemente, do nível da distância entre as ancoragens, a média da força de tração resultante com largura no nível 1 cm é superior àquela no nível 0,5 cm.

O fator largura foi predominante ao fator taxa de carregamento, ou seja, independente da taxa de carregamento de ensaio utilizada, a média da tração obtida com largura de 1 cm é superior à de 0,5 cm. No entanto, a combinação entre o nível 0,5, do fator largura, e o nível 4 mm.mim^{-1} , do fator taxa de carregamento, resultou em tração superior à combinação nível 0,5 e com o nível 1 mm.mim^{-1} .

A interação entre os fatores distância entre as ancoragens e taxa de carregamento também podem ser observados. A média da tração é reduzida conforme o nível da distância entre as ancoragens aumenta, independente da taxa de carregamento utilizada, porém a média da tração com nível 4 mm.mim^{-1} , do fator taxa de carregamento, é superior ao nível 1 mm.mim^{-1} , exceto para o nível 7 cm do fator distância entre as ancoragens.

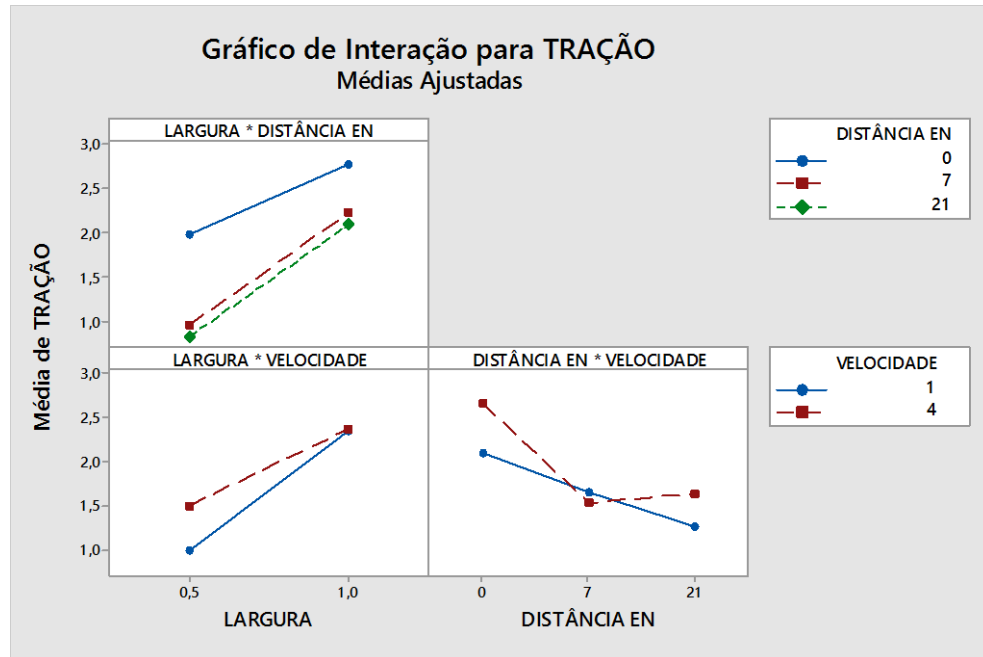


Figura 46 – Interação para o ensaio realizado sem imersão no lixiviado

Fonte: Autoria própria

Na ANOVA (Tabela 11) para o ensaio realizado após 180 dias de imersão do plástico mole no lixiviado é possível observar que o modelo fatorial se adequa 99,38% aos dados obtidos. Da mesma forma que para a ANOVA do ensaio sem imersão do plástico mole no lixiviado, todos os fatores e suas interações são significativos, ou seja, valor-p $\leq 0,05$. O fator que mais contribuiu para os valores de força de tração obtidos foi o fator largura (43%) e o fator distância entre as ancoragens (30,18%).

Tabela 11 – ANOVA para ensaio realizado aos 180 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

(continua)

	GL	SQ (Seq)	Contribuição (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	Valor-P
MODELO	11	50,01	99,38	50,01	4,55	0,00
LINEAR	4	40,71	80,90	40,71	10,18	0,00
L	1	21,64	43,00	21,64	21,64	0,00
DA	2	15,19	30,18	15,19	7,59	0,00
TC	1	3,88	7,72	3,88	3,88	0,00
INTERAÇÕES DE 2 FATORES	5	8,06	16,01	8,06	1,61	0,00
L*DA	2	2,35	4,66	2,35	1,17	0,00
L*TC	1	0,85	1,69	0,85	0,85	0,00
DA*TC	2	4,86	9,66	4,86	2,43	0,00

(conclusão)

	GL	SQ (Seq)	Contribuição (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	Valor-P
INTERAÇÕES DE 3						
FATORES	2	1,24	2,46	1,24	0,62	0,00
L*DA*TC	2	1,24	2,46	1,24	0,62	0,00
ERRO	24	0,31	0,62	0,31	0,01	
TOTAL	35	50,32	100			

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

Fonte: Autoria própria

Na Figura 47 é possível verificar que a orientação das linhas dos fatores ficou igual ao ensaio realizado com o plástico mole sem imersão no lixiviado. O nível 1 cm do fator largura resultou em média de força de tração superior ao nível 0,5 cm. No fator distância entre as ancoragens, quanto maior o nível, menor é a média da força de tração resultante. E, por fim, o fator taxa de carregamento, quanto maior o nível, maior é a média da força de tração resultante.

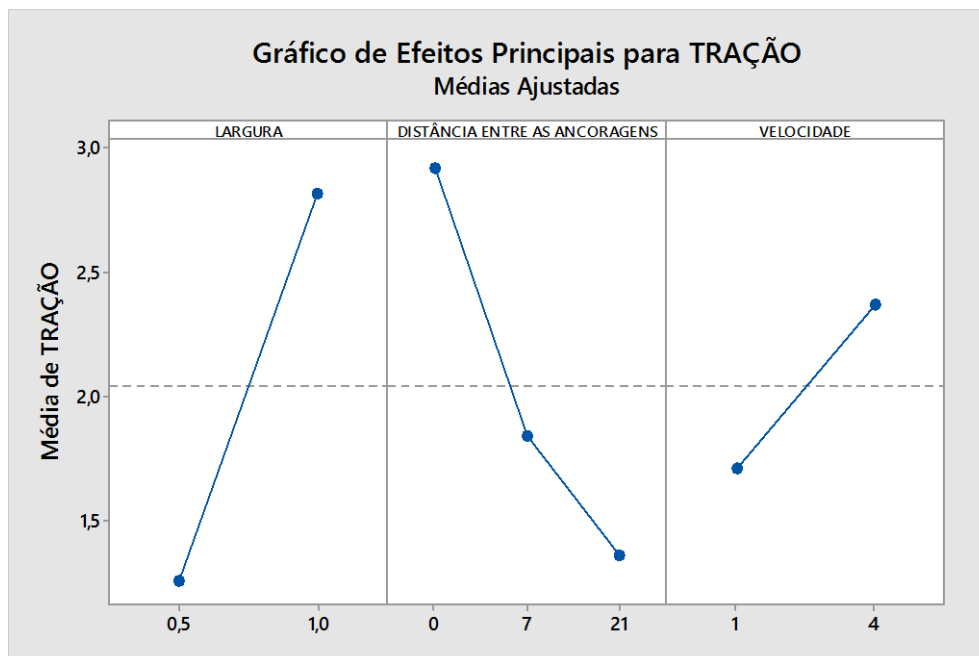


Figura 47 – Efeitos principais para o ensaio realizado aos 180 dias imerso no lixiviado

Fonte: Autoria própria

Na Figura 48, onde está exposta à interação entre os três fatores controlados nos ensaios, é possível observar que, independentemente do nível do fator distância entre as ancora-

gens, a média da força de tração resultante para o nível 1 cm é superior ao nível 0,5 cm, e que quanto menor o nível do fator distância entre as ancoragens maior é a média da força de tração resultante. A combinação entre o nível 1 cm do fator largura e o nível 0 cm do fator distância entre as ancoragens, resultou em uma média de força de tração próximo a 4 N. Na interação entre o fator largura e taxa de carregamento também é possível verificar que quando há aumento do nível do fator largura há um aumento da média da força de tração resultante e que, independentemente do nível da largura utilizado, a média da força de tração resultante nos ensaios com o nível 4 mm.min⁻¹, do fator taxa de carregamento, foram superiores à média da força de tração resultante do nível 1 mm.min⁻¹. Quando se avalia a interação entre o fator distância entre as ancoragens e taxa de carregamento, nota-se que quando o nível do fator distância entre as ancoragens aumenta, a média da força de tração resultante diminui, independentemente do nível do fator taxa de carregamento, e que o nível de 4 mm.min⁻¹, do fator taxa de carregamento, resulta em média de força de tração superior àquela obtida com nível menor, da mesma forma que ocorreu nos ensaios sem imersão no lixiviado.

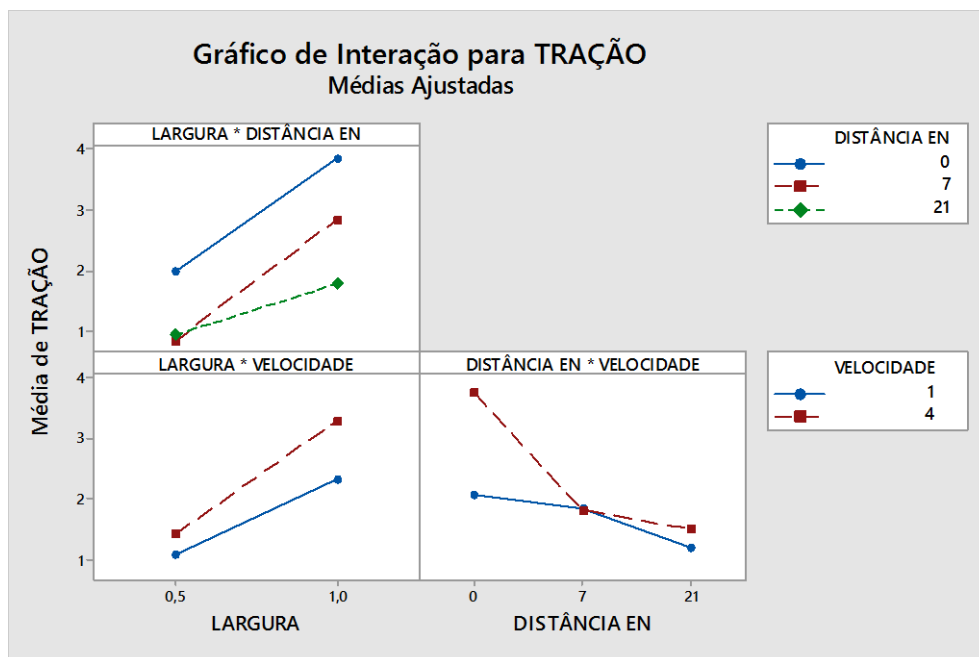


Figura 48 – Interação para o ensaio realizado aos 180 dias imerso no lixiviado

Fonte: Autoria própria

Encontra-se nos APÊNDICES D ao APÊNDICE P a análise de variância (ANOVA), bem como o gráfico de probabilidade normal dos resíduos, gráfico de efeitos principais e gráfico de interação entre os fatores de cada tempo de exposição do plástico mole ao lixiviado.

Pode ser observado que os resíduos possuem distribuição normal, sendo possível afirmar que os resultados obtidos nas análises também possuem distribuição normal, contudo, foi notado alguns *outliers* (Figura 55, Figura 58, Figura 61, Figura 64, Figura 67, Figura 70, Figura 73, Figura 76, Figura 79, Figura 82, Figura 85, Figura 88 e Figura 91).

Para todos os gráficos de efeito principal (Figura 56, Figura 59, Figura 62, Figura 65, Figura 68, Figura 71, Figura 74, Figura 77, Figura 80, Figura 83, Figura 86, Figura 89 e Figura 92) em apêndice, os fatores largura e taxa de carregamento mantiveram-se na mesma configuração, porém alterando os valores de média da força de tração obtida, ou seja, para o fator largura os ensaios executado com nível 0,5 cm resultaram em médias menores que àqueles executados com o nível 1 cm, enquanto que para o fator taxa de carregamento, os ensaios executados com nível 1 mm.min⁻¹ resultaram em médias menores que àqueles executado com nível 4 mm.min⁻¹. No entanto, para o fator distância entre as ancoragens foram observadas algumas variações entre o nível 7 cm e o nível 21 cm. Para os ensaios executados aos 15, 30, 75, 90, 105 e 120 dias de imersão do plástico mole imerso no lixiviado a média da força de tração resultante foi superior para o nível 21 cm, enquanto que para os demais ensaios, a força de tração resultante para o nível 7 cm foi maior. Já com o nível de 0 cm todas as médias de força de tração resultante foram superiores quando comparado com os demais níveis.

Avaliando os gráficos de interação entre os fatores (Figura 57, Figura 60, Figura 63, Figura 66, Figura 69, Figura 72, Figura 75, Figura 78, Figura 81, Figura 84) em apêndice, em particular o de interação entre o fator largura e distância entre as ancoragens, nota-se que independente da distância entre as ancoragens utilizadas nos ensaios a média da força de tração resultante para o fator largura e nível 0,5 cm foi menor que para o nível 1 cm.

Já com o fator distância entre as ancoragens, pode-se perceber que, independente da largura utilizada no ensaio, a média da força de tração resultante para o nível de 0 cm foi maior que a média da tração do que no nível 7 cm e 21 cm. Comparando os níveis de 7 cm e 21 cm, nota-se que no ensaio sem imersão do plástico mole e aos 45 dias de imersão o nível 7 cm da distância entre as ancoragens apresenta valores de média maiores do nível 21 cm, independentemente do nível da largura. Aos 15, 75, 105, 120, 135, e 165 dias de imersão do plástico mole no lixiviado a média da força de tração para o nível 21 cm combinado, com o nível da largura de 1 cm, foi superior a combinação do nível 7 cm com o nível de 1 cm. Enquanto que para a combinação do nível de 21 cm, da distância entre as ancoragens com o nível de 0,5 cm da largura, o resultado foi inverso, ou seja, a média da força tração resultante foi inferior à combinação do nível de 7 cm da distância entre as ancoragens e o nível de 0,5 cm da largura.

No caso de 165 dias de imersão a média da força de tração da combinação entre o nível de 7 cm com o nível de 0,5 cm ficou bem próxima da combinação entre 0 cm e 0,5 cm.

Nos gráficos (Figura 57, Figura 60, Figura 63, Figura 66, Figura 69, Figura 72, Figura 75, Figura 78, Figura 81, Figura 84) em que são apresentados a interação entre o fator largura e o fator taxa de carregamento, nota-se que para todos os períodos de análise a média da tração resultante para o fator taxa de carregamento, nível 4 mm.min⁻¹, foi superior àqueles executados com nível de 1 mm.min⁻¹, independentemente da combinação com o fator largura.

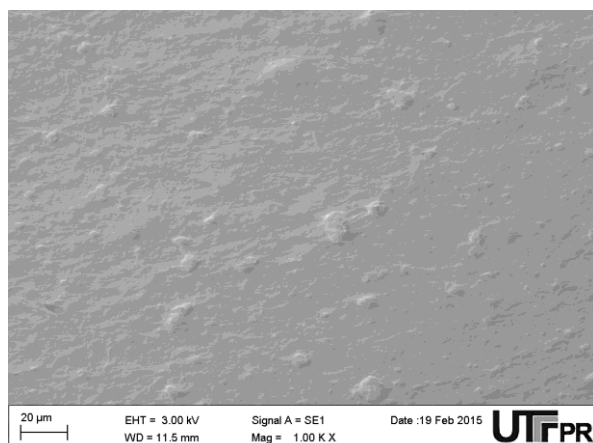
Quando à análise da interação entre os fatores distância entre as ancoragens de taxa de carregamento é realizado, nota-se que para a maioria dos tempos de imersão do plástico mole no lixiviado a média da força de tração resultante para o fator taxa de carregamento, nível 4 mm.min⁻¹, foi superior ao nível 1 mm.min⁻¹, independentemente do nível do fator distância entre as ancoragens. Em alguns casos a média da força de tração resultante do fator taxa de carregamento ficou bem próxima, como aconteceu aos 15, 60 e 105 dias de imersão do plástico mole no lixiviado, como no nível 21 cm, do fator distância entre as ancoragens.

4.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E ESPECTROSCOPIA DE ENERGIA DISPERSIVA (EDS)

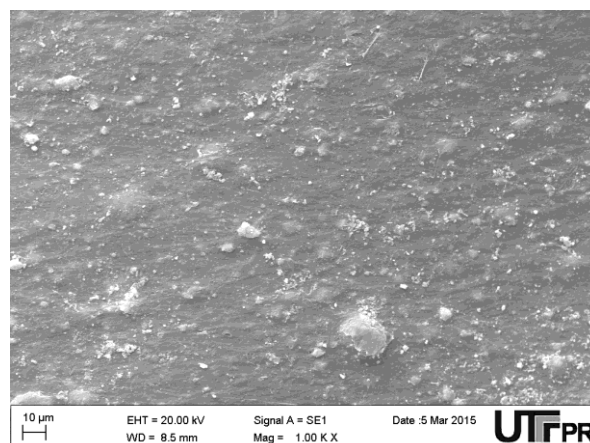
Com a análise de MEV foi possível observar a superfície do plástico mole antes e depois da sua imersão no lixiviado (Figura 49). Nota-se que a superfície do plástico é levemente desuniforme e apresenta alguns relevos, resultado decorrente, provavelmente, do processo de fabricação (Figura 49A). Já nas Figura 49B, Figura 49C e 69D é possível notar que a superfície do plástico em análise apresenta alguns materiais diferentes, fato ocorrido devido ao processo de deposição de sólidos provenientes do lixiviado.

Como as tiras plásticas foram colocadas em contato com o lixiviado aleatoriamente e a concentração de sólidos não foi igual para todos os recipientes, é possível que em algumas tiras, e até em certas áreas das tiras, haja pouca deposição de sólidos, podendo influenciar na tração resultante.

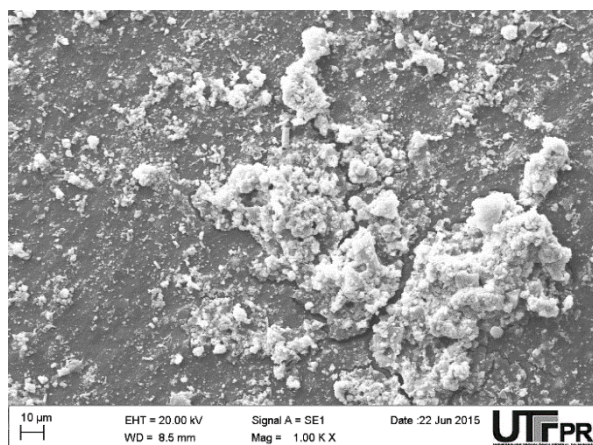
A – Sem imersão no lixiviado



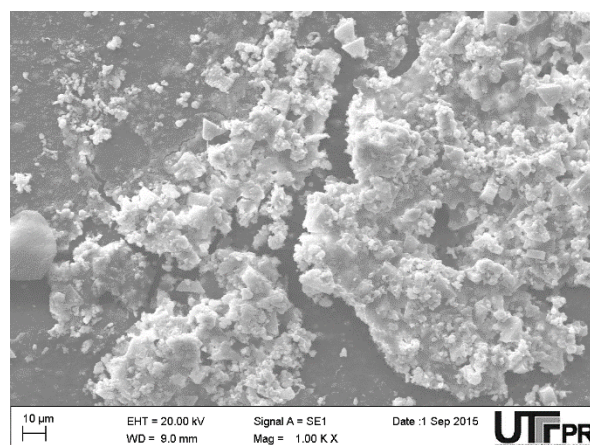
B– 165 dias de imersão



C – 261 dias de imersão



D – 332 dias de imersão

**Figura 49 – Análise de MEV****Fonte: Autoria própria**

Os ensaios de EDS auxiliaram no diagnóstico da composição química do plástico mole sem imersão e com imersão no lixiviado. Na Figura 50 podem ser observados os pontos selecionados para detectar os elementos químicos do plástico mole sem imersão no lixiviado. Já na Tabela 12 são encontrados os pontos de análise e seus respectivos elementos químicos encontrados, referentes à Figura 50. Pode-se notar que o elemento carbono é o principal constituinte do plástico mole, chegando a 85,75% no ponto 5, seguido pelo oxigênio, o qual teve sua maior proporção encontrada no ponto 1. O magnésio, cálcio e titânio encontram-se em menores proporções.

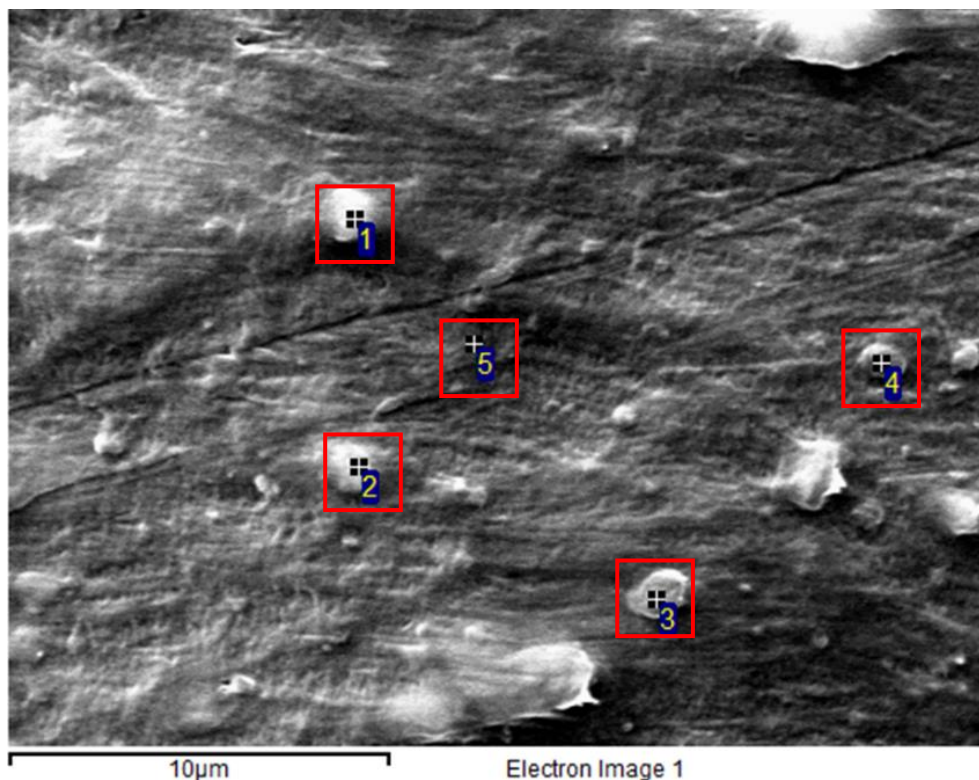


Figura 50 – Análise de EDS com o plástico sem imersão no lixiviado

Fonte: Autoria própria

Tabela 12 – Elementos químicos e seus respectivos percentuais encontrados na análise de EDS com o plástico mole sem imersão no lixiviado

Ponto	1	2	3	4	5	Máx.	Mín.	Média
C	59,99	66,71	55,23	70,59	85,75	85,75	55,23	67,65
O	28,96	23,08	31,8	19,18	8,5	28,96	8,5	22,30
Mg	0,23	-	-	-	-	0,23	0,23	0,23
Ca	10,25	9,5	12,48	8,54	3,95	12,48	3,95	8,94
Ti	0,57	0,7	0,47	1,68	1,78	1,78	0,47	1,04
Total	100	100	100	100	100			

Fonte: Autoria própria

É possível observar material depositado na análise de EDS com o plástico mole imerso no lixiviado durante 165 dias (Figura 51), material este proveniente de sólidos presentes no lixiviado. Na Figura 72, estão os pontos nos quais foram verificados os elementos químicos presentes.

O elemento que mais se destaca, neste caso, é o oxigênio, exceto no ponto 5, onde o carbono é o principal elemento, isto pode ser explicado, pelo fato de que a área em questão não contém elevado teor de material depositado (Tabela 13), como pode ser observado na

Figura 51. Elementos como sódio, alumínio, silício, cloro, potássio e ferro que antes não estavam presentes, agora fazem parte da lista de elementos presentes no plástico mole.

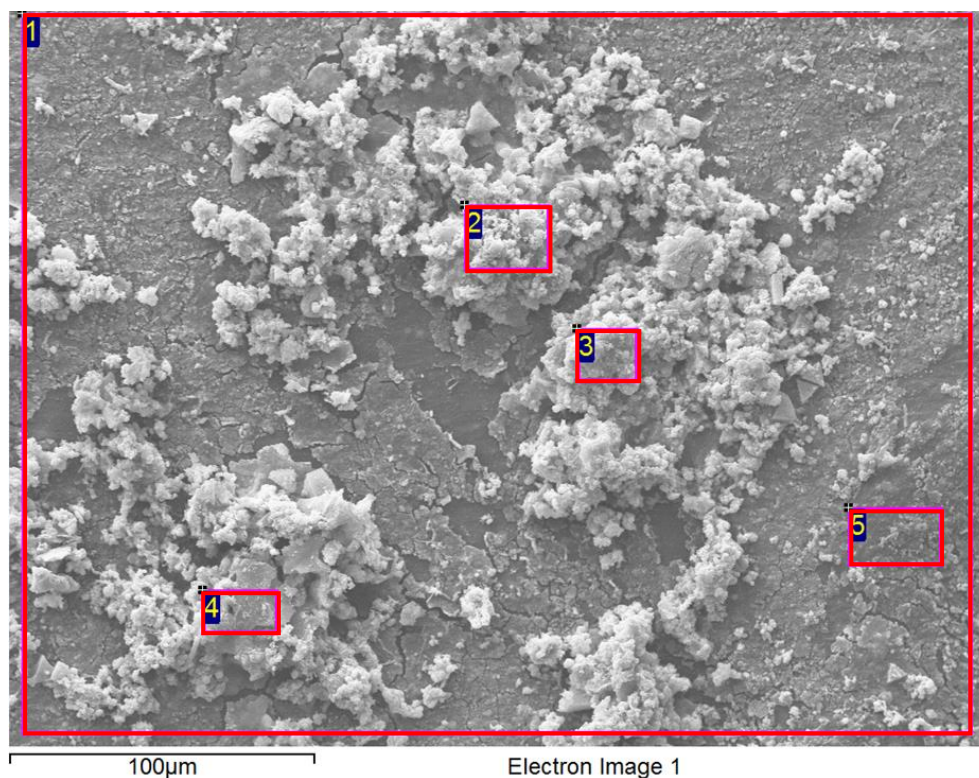


Figura 51 – Análise de EDS com o plástico mole imerso no lixiviado 165 dias

Fonte: Autoria própria

Tabela 13 – Elementos químicos e seus respectivos percentuais encontrados na análise de EDS com o plástico mole imerso no lixiviado por 165 dias

Ponto	1	2	3	4	5	Máx.	Mín.	Média
C	37,05	16,02	18,8	20,99	53,16	53,16	16,02	29,20
O	41,52	49,93	42,94	45,27	32,18	49,93	32,18	42,37
Na	0,66	0,76	0,78	-	-	0,78	0,66	0,73
Mg	2,27	2,8	2,1	0,98	1,88	2,8	0,98	2,01
Al	0,67		7,35	6,64	-	7,35	0,48	4,89
Si	0,58	0,61	7,18	7,15	-	7,18	0,58	3,88
Cl	0,54	0,76	1,53	0,89	-	1,53	0,54	1,06
K	0,51	0,89	1,78	0,92	-	1,78	0,51	1,03
Ca	14,64	25,11	11,14	15,68	10,9	25,11	10,9	15,49
Ti	0,9	-	0,47	-	1,88	1,88	0,47	1,08
Fe	0,66	2,63	5,93	1,47	-	5,93	0,66	2,67
Total	100	100	100	100	100			

Fonte: Autoria própria

Na Figura 52 é observada uma amostra depois de 261 dias de imersão do plástico mole no lixiviado e os respectivos pontos para detecção dos elementos químicos presentes. Os elementos químicos encontrados foram os mesmos que aqueles detectados aos 165 dias de imersão, mais o manganês que foi encontrado apenas no ponto 5 e em pequena porcentagem (Tabela 14).

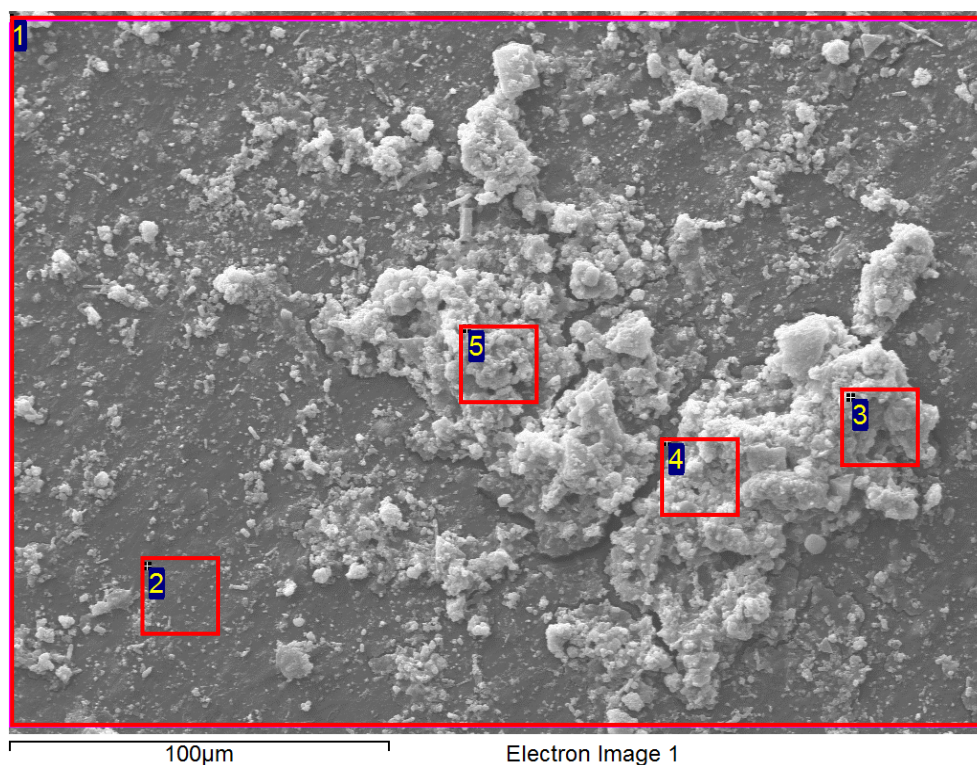


Figura 52 – Análise de EDS com o plástico mole imerso no lixiviado 261 dias

Fonte: Autoria própria

Tabela 14 – Elementos químicos e seus respectivos percentuais encontrados na análise de EDS com o plástico mole imerso no lixiviado por 261 dias

(continua)

Ponto	1	2	3	4	5	Máx.	Mín.	Média
C	60,54	90,85	25,71	71,29	19,13	90,85	19,13	53,50
O	30,19	4,49	48,12	21,4	43,63	48,12	4,49	29,57
Na	0,53	-	2,24	-	1,37	2,24	0,53	1,38
Mg	0,82	-	1,91	-	3,7	3,7	0,82	2,14
Al	0,23	-	0,66	0,32	0,4	0,66	0,23	0,40
Si	0,26	-	2,06	-	0,87	2,06	0,26	1,06
Cl	0,32	-	1,6	-	1,52	1,6	0,32	1,15
K	0,37	-	1,3	-	1,31	1,31	0,37	0,99
Ca	5,89	3,24	14,86	5,46	26,71	26,71	3,24	11,23

(conclusão)

Ponto	1	2	3	4	5	Máx.	Mín.	Média
Ti	0,59	1,42	-	1,53	-	1,53	0,59	1,18
Mn	-	-	-	-	0,45	0,45	0,45	0,45
Fe	0,25	-	1,54	-	0,9	1,54	0,25	0,90
Total	100	100	100	100	100			

Fonte: Autoria própria

Aos 332 dias de imersão do plástico mole no lixiviado (Figura 53) também foi observado a deposição de sólidos. Com a análise de EDS (Tabela 15), foi detectado, além dos componentes observados nas análises anteriores, dois novos elementos, fósforo e enxofre.

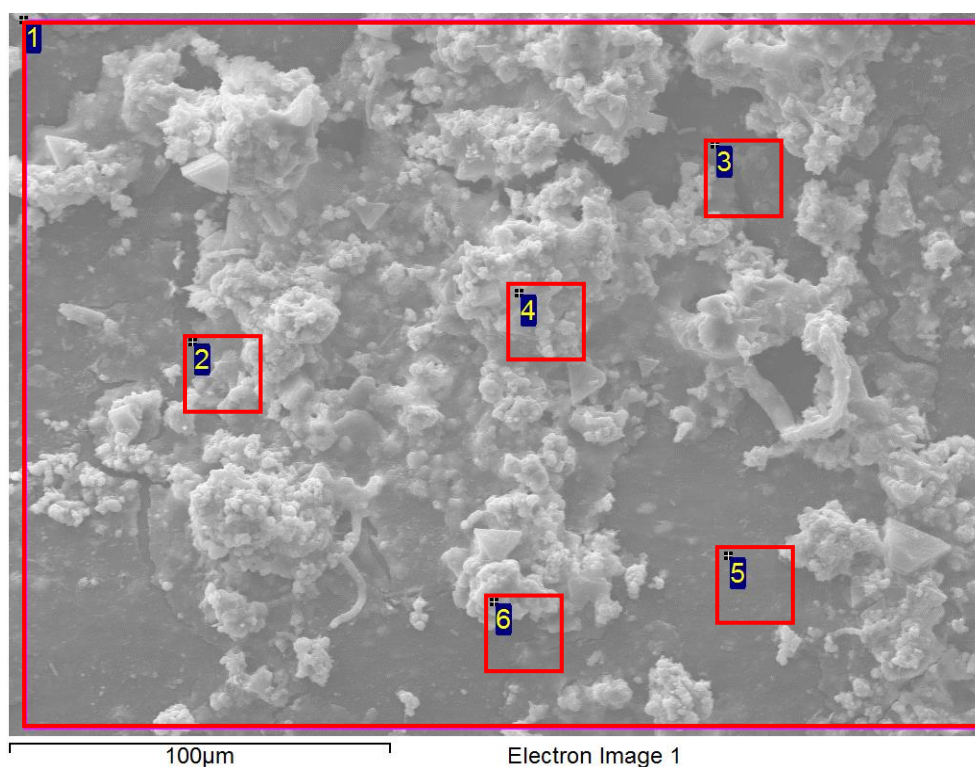


Figura 53 – Análise de EDS com o plástico mole imerso no lixiviado 332 dias

Fonte: Autoria própria

Tabela 15 – Elementos químicos e seus respectivos percentuais encontrados na análise de EDS com o plástico mole imerso no lixiviado por 332 dias

(continua)

Ponto	1	2	3	4	5	6	Máx.	Mín.	Média
C	55,88	90,65	62,71	32,74	92,59	39,39	92,59	32,74	62,33
O	33,31	6,5	19,35	46,6	4,17	40,88	46,6	4,17	25,14
Na	1,12	-	0,74	2,33	-	2,48	2,48	0,74	1,67

(conclusão)

Ponto	1	2	3	4	5	6	Máx.	Mín.	Média
Mg	0,88	-	-	3,01	-	2,72	3,01	0,88	2,20
Al	0,18	-	-	0,13	-	-	0,18	0,13	0,16
Si	0,36	-	-	0,73	-	0,52	0,73	0,36	0,54
P	0,41	-	-	1,72	-	-	1,72	0,41	1,07
Cl	1,39		0,78	1,01	-	1,38	1,39	0,78	1,14
K	0,96	-	-	1,2	-	0,67	1,2	0,67	0,94
Ca	4,83	2,29	13,81	9,58	2,75	9,45	13,81	2,29	7,12
Ti	0,32	0,57	2,61	-	0,49	-	2,61	0,32	1,00
Mn	-	-	-	-	-	0,19	0,19	0,19	0,19
Fe	0,36	-	-	0,93	-	1,56	1,56	0,36	0,95
S	-	-	-	-	-	0,75	0,75	0,75	0,75
Total	100	100	100	100	100	100			

Fonte: Autoria própria

Foi possível verificar, com a análise de MEV, que devido ao contato do plástico mole com o lixiviado houve a deposição de material sólido, porém a intensidade dessa deposição não é homogênea para todas as tiras plásticas, ou seja, em algumas tiras não há grande quantidade de sólidos depositados, ou até mesmo na mesma tira. Este fato pode ocasionar variabilidade nos dados de tração, pois se a tira plástica possui grande quantidade de material depositado ela fica mais “grossa” e assim pode interferir diretamente no valor de tração suportada. Isso pode explicar a variabilidade dos resultados obtidos, quando da comparação da tração em diferentes tempos de imersão no lixiviado.

Pela análise de EDS foi possível observar elementos químicos presentes no plástico mole diferentes antes e depois da imersão do mesmo no lixiviado. Esses elementos químicos presentes no sólido depositado sobre o plástico mole, podem estar sendo adsorvidos pelo plástico mole, e assim, alterando suas características químicas, físicas e mecânicas, podendo interferir na resistência à tração do plástico mole.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cada vez mais se torna necessário estudos voltados aos resíduos sólidos urbanos, principalmente no que diz respeito a geotecnia de aterros sanitários. Com o presente estudo, o qual verificou a influência do lixiviado na força de tração do plástico mole através de ensaios laboratoriais, conduziu a algumas conclusões.

1. Com o tempo de imersão total utilizado não foi possível observar alguma tendência, quanto a força de tração ao longo do tempo, não sendo possível afirmar com clareza a influência que o tempo de exposição no lixiviado possui sobre os resultados de força de tração.

2. A largura das tiras de plástico mole influencia diretamente a força de tração resultante, ou seja, quanto maior a largura da tira, maior será a força de tração suportada por ela.

3. A distância entre as ancoragens influencia nas forças de tração resultantes, ficando claro quando há comparação das distâncias entre as ancoragens de 0 cm e 7 cm, e entre as distâncias entre as ancoragens de 0 cm e 21 cm, sendo isso confirmado pela análise estatística dos resultados, mostrando que quanto menor a distância entre as ancoragens, maior a força de tração suportada pela tira de plástico mole.

4. Os ensaios executados com taxa de carregamento de $4 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ registraram forças de tração superiores às verificadas com taxa de carregamento de $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, mostrando que a taxa de carregamento interfere nitidamente na força de tração resultante, sendo confirmado através da análise estatística dos resultados.

5. Houve variação da DQO, alcalinidade, ácidos voláteis, nitrogênio amoniacal e fósforo total do lixiviado durante as análises, ao longo do tempo.

6. Devido ao contato do plástico mole com o lixiviado houve deposição de material sólido, podendo gerar algum tipo de interação entre ambos e, assim, interferir na força de tração do plástico mole.

7. Elementos químicos diferentes daqueles encontrados no plástico mole sem imersão no lixiviado foram detectados no plástico mole imerso lixiviado.

Logo, parâmetros da pesquisa, como a largura e a distância entre as ancoragens são parâmetros que podem ser controlados dentro de um aterro sanitário, desta forma, esses parâmetros devem ser estudados mais profundamente, podendo futuramente ser levados em consideração em projetos de aterros sanitários, e assim otimizar a resistência ao cisalhamento da massa.

SUGESTÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS

1. Aumentar o intervalo em que os ensaios são realizados, sugerindo 30 dias ou mais, e em contrapartida aumentar o período de análise.
2. Trabalhar com duas distâncias entre as ancoragens ou maior diferença entre as distâncias trabalhadas, para obter resultados e tendências mais claros.
3. Investigar, a nível microscópico, como o plástico mole reage em contato com o lixiviado, realizando outras análises como o DRX, por exemplo.
4. Investigar se os microrganismos e a temperatura influenciam na força de tração do plástico imerso no lixiviado.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ALMEIDA, R. G. de. Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares urbanos do município de Caçador-SC, a partir da caracterização física e composição gravimétrica. **Ignis**, Caçador, v. 1, n. 1, jan. jun. 2012. Disponível em: <<http://www.uniarp.edu.br/periodicos/index.php/ignis/article/view/30/58>>. Acesso em: 29 de ago. 2014.

AMARAL, M. C. S. et al. Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados de aterro sanitários. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.13, n. 1, p. 38-45, jan/mar. 2008.

ANDRADES, S. Dados meteorológicos [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <silvandrades@yahoo.com.br> em 09 mar. 2015.

APHA (1998). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed. Washington.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 10. ed. São Paulo: ABRELPE, 2012. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2013.

_____. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: 2013**. 11. ed. São Paulo: ABRELPE, 2013. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2015

BARBOSA, V. 12 lugares no mundo que baniram ou taxaram o uso de sacola plástica. *Planeta Sustentável*, 2012. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/meio-ambiente-eenergia/sustentabilidade/noticias/12-lugares-no-mundo-que-baniram-ou-taxaram-o-uso-desacola-plastica>.

BARROS, R. T. de V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012.

BORGATTO, A. V. A. **Estudo do efeito fibra e da morfologia na estabilidade de aterros de resíduos sólidos urbanos**. 2006. 157 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – COOPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.getres.ufrj.br/pdf/BORGATTO_AVA_06_t_M_int.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2014.

BORGATTO, A. V. A. Estudo das propriedades geomecânicas de resíduos sólidos urbanos pré-tratados. 2010. 271 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – COOPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

BOUAZZAL, A.; NAHLAWI, H.; AYLWARD, M. In situ temperature monitoring in an organic-waste landfill cell. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 137, n. 12, p. 1286-1289, dec. 2011.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010). Brasília, DF: Senado Federal, 2010.

_____. Decreto-lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Seção 1, p. 3.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Plano nacional de resíduos sólidos**. Brasília, DF, 2012. Disponível em <http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657>. Acesso em: 18 ago. 2014.

CABEZA, I. O. et al. Maximizing municipal solid waste e legume trimming residue mixture degradation in composting by control parameters optimization. **Journal of Environmental Management**, v, 128, p. 266 – 273, 2013.

CAMARGO, K. R. **Avaliação da condutividade hidráulica e da resistência ao cisalhamento de misturas solo-bentonita**: estudo de caso de um aterro sanitário localizado em Rio Grande (RS). 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia; Escola de Engenharia de São Carlos; Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

CARDIM, R. D. **Estudo da resistência de resíduos sólidos urbanos por meio de ensaios de cisalhamento direto de grandes dimensões**. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

CARVALHO, M. F. **Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos**. 1999. 330 f. Tese (Doutorado em Geotecnia)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

CARVALHO, A, R. MAHLER, C. F. A influência da idade e da coleta seletiva na evolução do peso específico do resíduo no aterro sanitário de Santo André. In: **23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 2005, Campo Grande.

CHENG, H. et al. Municipal solid waste fueled power generation in China: a case study of waste-to-energy in Changchun City. **ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY**, v. 41, n. 21, p. 7509-7515, 2007.

COLTRO, L. et al. Reciclagem de materiais plásticos: A importância da identificação correta. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 18, n. 2, p. 119-125, 2008.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA. **Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares do município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/comlurb>> Acesso em: 18 ago. 2014.

CORRÊA, C. L. **Análise da influência do plástico mole na resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos**. 2013. 110f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2013.

COUTINHO, F. M. B. et al. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2003.

DE LAMARE NETO, A. **Resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos e de materiais granulares com fibras**. 2004. 214f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) -Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

DIXON, N. LANGER, U. Development of a MSW classification system for the evaluation of mechanical properties. **Waste Management**, v. 26, n. 3, p. 220-232, apr. 2006.

DIAS, N. C. **Adsorção de nitrogênio amoniacal de lixiviado de aterro sanitário em coluna de leito fixo com vermiculita expandida**. 2013. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

EDUARDO, J. **Avaliação das características microbiológicas e físico-químicas do lixiviado (chorume) no processo de tratamento do aterro metropolitano de Gramacho (RJ-Brasil)**. 2007. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

FABRO, A. T. LINDEMANN, C. VIEIRA, S. C. Utilização de sacolas plásticas em supermercados. **Revista Ciências do Ambiente OnLine**, v. 3, n. 1, fev. 2007,. Disponível em:<<http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/index.php/be310/article/viewFile/70/46>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

FANINI, N. M. **Atlas geográfico do município de Curitiba**. Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/1128-2.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2014.

FERNANDO, A.; LIMA, S. do C. Caracterização dos resíduos sólidos urbanos do município de Maxixe/Moçambique. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 42, p. 335–345, jun. 2012. Disponível em: < <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>>. Acesso em: 30 de ago. 2014.

FUCALE, S. P. **Influência dos componentes de reforço na resistência de resíduos sólidos urbanos**. 2005. 216 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

GAWLIK, F.M. **Estudo da variação da resistência ao cisalhamento do RSU devido a presença de plástico mole**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

GIORDANO, G.; BARBOSA FILHO, O.; CARVALHO, R. J. **Processos físico-químicos para tratamento do chorume de aterros de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: CO-AMB / FEN / UERJ / 2011. 178p. (Série Temática: Tecnologias Ambientais, v. 4). Disponível em: <<http://www.coamb.eng.uerj.br/download/coamb-TA-Volume4.pdf>>. Acesso em: 10 mar.2014.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IZZO, R. L. S. **Comportamento de resíduos sólidos inertizados em barreira capilar**. 2008. 203 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Civil)-Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

JUNQUEIRA, F. de F. **Análise do comportamento de resíduos sólidos urbanos e sistemas dreno-filtrantes em diferentes escalas, com referência ao aterro do Jockey Club – DF**. 2000. 288 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

KOCKEL, R. Scherfestigkeit von Mischabfällen in Hinblick auf die Standsicherheit von Deponien. Schriftenreihe des Institute für Greendbau, Ruhr - Universität Bochum, Heft 24, 1995.

KOLSCH, F. Material values for some mechanical properties of domestic waste. In: **Fifth International Landfill Symposium**, S. Margherita di Pula, Cacliari, Italy, p. 711-729, oct. 1995.

LANDVA, A. O.; CLARK, J. I. **Geotechnics of Waste Fill**. Geotechnics of Waste Fills - Theory and Practice, ASTM STP 1070, Arvid Landva, G. David Knowles, editors, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990, p.86-103.

LIMA, A. L., et al. Estudos comparativos de diferentes metodologias para determinação de umidade e sólidos voláteis aplicadas em resíduos sólidos urbanos. In: **VI SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 2002, Vitória.

LÓPEZ, M. et al. Evaluation of MSW organic fraction for composting: separate collection or mechanical sorting. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, p. 222–228, 2009.

LUCAS, E. F.; SOARES, B. G.; MONTEIRO, E. E. C. **Caracterização de polímeros**: determinação do peso molecular e análise térmica. E-papers, Rio de Janeiro, 2001.

MACHADO, S. L., et al. Evaluation of the geotechnical properties of MSW in two Brazilian landfills. **Waste Management**, v. 30, p. 2579–2591, jul. 2010.

MARCZAK, R. J. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. Parte I. Porto Alegre, 2004.

MORAVIA, W. G.; LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S. Avaliação de processo oxidativo avançado pelo reagente de fenton em condições otimizadas no tratamento de lixiviado de aterro sanitário com ênfase em parâmetros coletivos e caracterização do lodo gerado. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 8, 2011.

MOURA, D. A. G. **Remoção de amônia por arraste com ar de lixiviados de aterros sanitários**. Dissertação (Mestrado em em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos)- Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

NAHAS, C. M. Aterros sanitários técnicas construtivas e métodos operacionais. ENGE-CORPS – Corpo de Engenheiros Consultores Ltda, São Paulo, 2004.

NAÏMA, T. D. et al. Composition of Municipal Solid Waste (MSW) generated by the city of Chlef (Algeria). **Energy Procedia**, v. 18, p. 762-771, 2012. Disponível em:<http://ac.els-cdn.com/S1876610212008624/1-s2.0-S1876610212008624-main.pdf?_tid=a84632f4-338a-11e4-9d40-00000aab0f02&acdnat=1409763315_8fb6a1813a1a48b6fb23001e06350a2d>. Acesso em: 3 set. 2013.

NASCIMENTO, L. B. **O impacto das sacolas plásticas no meio ambiente**. 2011. 56 f. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) – Instituto a Vez do Mestre, Universidade Candido Mendes, Niterói, 2011.

NASCIMENTO, J. C. F. do. **Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos**. 2007. 160f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos; Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

NÓBREGA, M. R. R., et al. **Caracterização do chorume de um aterro controlado em Pelotas/RS**. In: Congresso de Iniciação Científica, 18., Encontro de Pós-Graduação, 10., Mostra Científica, 2009, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPEL, 2009. Disponível em: <http://wp.ufpel.edu.br/rhima/files/2010/09/CE_01502.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2014.

OLIVEIRA, D. A. F. **Estabilidade de taludes de maciços de resíduos sólidos urbanos**. 2002. 154 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

PAOLI, M. A. de. **Degradação e estabilização de polímeros**. 2ª versão on-line (revisada). CHEMKEYS, 2008.

PARANÁ. Instituto Ambiental do Paraná. **Relatório da situação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado do Paraná, 2012**. Curitiba, 2013. 51p. Disponível em:< http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Diagnostico_RSU_2012_VERSAO_FINALcomMAPAS.pdf>. Acesso em 25 ago. 2014.

PEREIRA, R. A. **Compostagem em pequena escala e uso do composto como substrato na germinação de sementes de tomate (*Lycopersicum esculentum*)**. 2013. 56 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais). Programa de Pós-graduação em Sistemas Agroindustriais; Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2013.

PORTUGAL. Agência Portuguesa do Ambiente. **Resíduos urbanos: relatório anual 2012**. Amadora, LIS, 2013.

PRADO, M. R. V.; MATTOS, V. M. de. Diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos urbanos gerados na cidade de Poxoréu - MT, Brasil. **UNICIÊNCIAS**, Cuiabá, v. 18, n. 1, p. 5-10, jun. 2014. Disponível em:<

<http://revistas.unopar.br/index.php/uniciencias/article/view/1279/1194>>. Acesso em: 29 ago.2014.

REZENDE, J. H. et al. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.18, n.1, p. 1-8, jan/mar. 2013.

RIBEIRO, A. G. C. **Determinação de parâmetros de resistência de resíduos sólidos urbanos por meio de retro-análises de testes em laboratório**. 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

RIBEIRO JUNIOR, V. G. **Composição gravimétrica e a gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de Curitiba, Paraná**. 2013. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em:<
<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/34866/Monografia%20Wilson%20Galadino%20Ribeiro%20Junior.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 28 ago. 2014.

SAAEVICOSA. **SAAE e Prefeitura investem no Aterro Sanitário para a sua regularização**. Viçosa-MG, 2011. Disponível em:< <http://www.saaevicosa.com.br/portal/?p=2817>>. Acesso em: 4 dez. 2014.

SANTOS, G. G. D. dos. **Análise e perspectivas de alternativas de destinação dos resíduos sólidos urbanos: o caso da incineração e da disposição em aterros**. 2011. 208 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Programa de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:<http://www.getres.ufrj.br/pdf/guilherme_santos.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2014.

SANTOS. A. de A. et al. Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos sólidos urbanos do município de Apuí-AM. **EDUCamazônia: educação sociedade e meio ambiente**, Humaitá, v 10, n 1, p. 49-58, jun. jul. 2013. Disponível em:< dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4709030.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2014.

SANTOS, P. C. V. dos. **Estudo da degradação e dos recalques em células experimentais de resíduos sólidos no aterro do Jockey Club/DF**. 2004. 221 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

SILVO, M. **Empresa que modernizará o sistema de limpeza pública de Manaus ganhará quase R\$ 7 bilhões em 30 anos**. Manaus, 2012. Disponível em:<
http://acritica.uol.com.br/manaus/Futura-limpeza-Manaus-ganhara-bilhoes-Amazonia-Amazonas-Manaus_0_701329905.html>. Acesso em 4 dez. 2014.

SOARES, E. L. de S. F. **Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos**. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SOBRAL, C. R. do S. **Percepção popular e educação ambiental para a gestão integrada de resíduos sólidos**. 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de

Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012. Disponível em: <http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/42/TDE-2012-06-19T101205Z-3824/Publico/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2014.

SOUTO, G. D. B. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros – estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“stripping”)**. 2008. 371 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

SUZUKI, D. K. **Verticalização de aterros sanitários por meio de reforço com geogrelhas e diques periféricos alteados pelo método de montante**. 2012. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

TAPAHUASCO, W. F. C. **Análise do Comportamento de Maciços Sanitários e Proposta de um Modelo de Previsão de Recalques Considerando a Parcela da Biodegradação**. 2009. 161 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

TARTARI, L. C. **Avaliação do processo de tratamento do chorume do aterro sanitário de Novo Hamburgo**. 2003. 11 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia, Energia, Ambiente e Materiais) Universidade Luterana do Brasil, Rio Grande do Sul, 2003. Disponível em: <<http://www.liberato.com.br/upload/arquivos/0131010716431716.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2014.

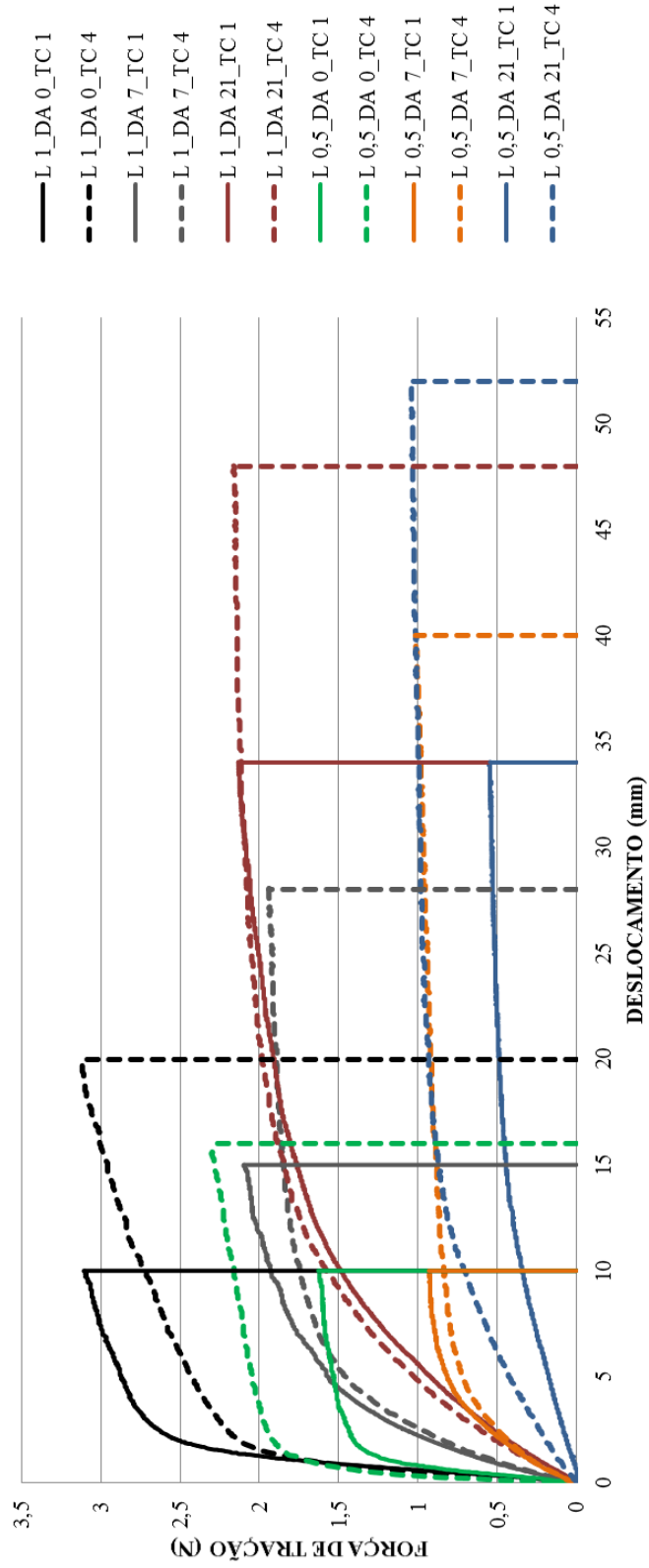
USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Municipal solid waste generation, recycling, and disposal in the United States: tables and figures for 2012**. Washington, 2014.

VIANA, M. B. **Sacolas plásticas: aspectos controversos de seu uso e iniciativas legislativas**. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, Brasília, Distrito Federal, 2010.

World Bank. **What a waste. A global review of solid waste management**. Washington, D. C., Estados Unidos, 2012. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What_a_Waste2012_Final.pdf>. Acesso em: 10 out. 2015.

YABROUDI, S. C. **Remoção de matéria orgânica e nitrogênio de lixiviados de aterro sanitário. Tratamento por nitrificação/desnitrificação biológica e processos físico-químicos**. 2012. 192 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

APÊNDICE A – Determinação de deslocamento máximo a ser utilizado para todos os ensaios ao longo do tempo



L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

Figura 54 – Determinação de deslocamento máximo a ser utilizado para todos os ensaios ao longo do tempo

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE B – Resultados obtidos pelos ensaios de força de tração

Tabela 16 – Forças de tração obtidas com os ensaios e utilizadas para resultados e discussões

(continua)

ENSAIO	SEM IMERSÃO	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
L1_DA0_TC1	2,620	1,898	2,805	3,729	2,259	3,166	3,040	3,116	3,317	3,317	2,847	3,359	2,628
	3,107	2,301	2,141	3,519	2,612	3,149	3,023	3,317	3,225	3,267	2,704	3,342	2,620
	2,511	1,730	2,393	3,577	2,301	3,200	2,964	3,384	3,040	3,586	2,670	3,124	2,528
MÉDIA	2,746	1,976	2,446	3,608	2,391	3,172	3,009	3,272	3,194	3,390	2,740	3,275	2,592
	0,317	0,293	0,335	0,108	0,193	0,026	0,040	0,139	0,141	0,172	0,094	0,131	0,056
	2,620	3,880	2,998	4,274	3,023	3,435	4,577	4,980	4,283	3,468	3,762	4,274	4,988
L1_DA0_TC4	3,065	3,888	3,048	3,905	3,107	3,754	4,073	4,997	3,451	3,485	3,997	4,258	5,383
	2,712	4,241	2,948	4,190	3,233	3,611	4,216	5,307	3,535	3,267	3,838	4,106	4,887
	2,799	4,003	2,998	4,123	3,121	3,600	4,289	5,095	3,756	3,407	3,866	4,213	5,086
MÉDIA	0,235	0,206	0,050	0,193	0,106	0,160	0,260	0,184	0,458	0,121	0,120	0,093	0,262
	2,578	1,478	1,360	1,663	1,419	1,713	2,251	2,209	1,957	2,108	2,679	1,940	2,696
	2,410	1,402	1,067	1,579	1,318	1,604	2,049	1,948	2,108	2,452	2,385	1,931	2,738
L1_DA7_TC1	2,099	1,218	1,310	1,461	1,251	1,722	2,125	1,764	2,175	2,083	2,486	1,864	2,838
	2,362	1,366	1,246	1,568	1,329	1,680	2,142	1,974	2,080	2,214	2,517	1,912	2,757
	0,243	0,134	0,157	0,101	0,085	0,066	0,102	0,224	0,112	0,206	0,149	0,042	0,073
L1_DA7_TC4	2,057	1,302	2,133	1,864	2,351	2,150	2,687	2,679	2,595	1,982	2,956	2,158	2,830
	2,108	1,386	2,083	2,301	2,259	2,057	2,511	2,536	2,788	1,797	2,906	2,133	2,880
	2,125	1,503	1,957	2,444	2,536	2,032	2,444	2,830	2,528	2,335	2,964	2,284	3,006
MÉDIA	2,097	1,397	2,058	2,203	2,382	2,080	2,547	2,682	2,637	2,038	2,942	2,192	2,905
	0,035	0,101	0,091	0,302	0,141	0,062	0,126	0,147	0,135	0,273	0,031	0,081	0,091
	1,738	2,293	1,537	1,092	1,512	2,225	2,251	3,015	3,233	1,772	1,654	1,839	1,528
L1_DA21_TC1	1,973	1,999	1,335	1,075	1,747	1,839	2,217	2,990	2,402	1,982	1,243	2,175	1,562
	2,133	1,973	1,444	1,293	1,554	2,167	2,125	3,174	2,612	2,083	1,419	1,621	1,873
	1,948	2,088	1,439	1,153	1,604	2,077	2,198	3,060	2,749	1,946	1,439	1,878	1,654
MÉDIA	0,199	0,178	0,101	0,121	0,125	0,208	0,065	0,100	0,432	0,159	0,206	0,279	0,190
	2,167	1,931	1,965	1,629	1,915	2,259	3,141	3,124	2,511	2,553	2,855	2,612	1,789
	2,150	2,410	1,822	1,604	1,772	2,335	2,822	2,889	3,208	2,662	3,132	2,511	2,057
L1_DA21_TC4	2,410	2,217	1,864	1,604	1,436	2,284	2,780	3,032	3,132	2,712	2,771	2,503	1,873
	2,242	2,186	1,884	1,612	1,708	2,293	2,914	3,015	2,950	2,642	2,919	2,542	1,906
	0,145	0,234	0,074	0,014	0,246	0,039	0,197	0,118	0,382	0,081	0,189	0,061	0,137
L0,5_DA0_TC1	1,495	1,159	1,344	2,057	0,983	1,218	1,276	1,486	1,243	1,470	1,344	1,142	1,621
	1,629	1,268	1,134	2,410	0,991	1,528	1,234	1,789	1,108	1,419	0,865	1,150	1,486
	1,293	1,226	1,243	2,469	0,806	1,327	1,209	1,931	1,092	1,428	1,302	1,016	1,587
MÉDIA	1,472	1,218	1,240	2,312	0,927	1,358	1,240	1,735	1,148	1,439	1,170	1,103	1,565
	0,169	0,055	0,105	0,223	0,105	0,157	0,034	0,227	0,083	0,027	0,265	0,075	0,070
	2,309	1,394	1,562	1,940	1,276	1,402	1,764	2,511	1,696	1,915	1,696	1,713	2,486
L0,5_DA0_TC4	2,687	1,646	1,696	1,931	1,486	1,344	1,545	2,486	1,738	1,906	1,856	1,562	2,377
	2,553	1,545	1,596	1,999	1,520	1,428	1,579	2,486	1,663	1,839	1,764	1,646	2,419
	2,516	1,528	1,618	1,957	1,427	1,391	1,629	2,494	1,699	1,887	1,772	1,640	2,427
MÉDIA	0,192	0,127	0,070	0,037	0,132	0,043	0,118	0,014	0,038	0,042	0,080	0,076	0,055
	0,932	0,663	0,487	1,008	0,705	0,747	0,999	0,857	1,192	0,949	0,588	1,360	0,941
	0,890	0,781	0,470	0,747	0,621	0,613	0,966	1,008	1,150	0,899	0,403	1,318	0,974
L0,5_DA7_TC1	0,991	0,655	0,521	0,739	0,663	0,613	0,983	0,941	1,142	1,041	0,588	1,134	0,932
	0,938	0,700	0,493	0,831	0,663	0,658	0,983	0,935	1,161	0,963	0,526	1,271	0,949
	0,051	0,071	0,026	0,153	0,042	0,077	0,017	0,076	0,027	0,072	0,107	0,120	0,022
L0,5_DA7_TC4	1,016	1,268	0,537	1,142	0,991	1,453	1,243	1,117	1,461	1,638	1,159	1,461	0,789
	0,899	1,025	0,563	1,033	0,924	1,344	1,209	1,318	1,461	1,772	1,016	1,444	0,756
	1,025	1,226	0,630	0,941	0,983	1,268	0,941	1,419	0,907	1,411	1,016	1,654	0,739
MÉDIA	0,980	1,173	0,577	1,039	0,966	1,355	1,131	1,285	1,276	1,607	1,064	1,520	0,761
	0,070	0,130	0,048	0,101	0,037	0,093	0,165	0,307	0,320	0,182	0,083	0,117	0,025

(conclusão)

ENSAIO	SEM IMERSÃO	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
L0,5_DA21_TC1	0,638	0,806	0,689	0,739	0,890	0,638	0,823	0,756	0,941	1,058	0,663	0,605	0,705
	0,647	0,697	0,714	0,731	0,932	0,605	0,798	0,831	0,949	1,016	0,739	0,512	0,798
	0,546	0,705	0,722	0,798	0,932	0,663	0,840	0,899	1,058	0,941	0,798	0,537	0,781
MÉDIA	0,610	0,736	0,708	0,756	0,918	0,635	0,820	0,829	0,983	1,005	0,733	0,551	0,761
DP	0,056	0,061	0,017	0,037	0,024	0,029	0,021	0,072	0,065	0,059	0,068	0,048	0,050
L0,5_DA21_TC4	1,041	0,680	0,722	0,949	0,731	0,907	1,470	0,957	1,125	1,075	1,184	0,974	1,100
	1,058	0,705	0,714	0,831	0,773	0,907	1,302	1,108	1,159	1,033	1,033	1,125	1,092
	1,025	0,487	0,731	0,873	0,789	0,899	1,537	1,159	1,176	1,041	1,192	1,100	1,209
MÉDIA	1,041	0,624	0,722	0,884	0,764	0,904	1,436	1,075	1,153	1,050	1,136	1,066	1,134
DP	0,017	0,119	0,009	0,060	0,030	0,005	0,121	0,105	0,026	0,022	0,090	0,081	0,065

L – Largura, DA – Distância entre as Ancoragens, TC – Taxa de Carregamento, DP – Desvio Padrão

Valores em N

APÊNDICE C – Resultados da análise química do lixiviado

Tabela 17 – Resultados da análise química do lixiviado ao longo do tempo

	pH	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	ALCALINIDADE TOTAL (mg.L ⁻¹)	ÁCIDOS VOLÁTEIS (mg.L ⁻¹)	NITROGÊNIO AMONÍACAL (mg.L ⁻¹)	FÓSFORO TOTAL (mg.L ⁻¹)
Bruto	8,3	6550	1755	1273,39	2110	*
15	9,14	5675	925,52	1374,36	1985	150
30	9,07	5175	1610	1393,94	1750	300
45	8,94	2675	961,67	457,79	*	*
60	9,37	3133,33	648,77	337,97	*	*
75	9,14	2716,67	1069,64	342,82	1192	50
90	9,31	6150	1066,83	281,47	1145	300
105	9,34	3025	1151,79	299,81	1025	100
120	9,41	1691,67	976,29	244,16	865	200
135	9,04	4650	1364,35	500,66	995	300
150	9,99	6808,33	1160,06	182,32	1070	250
165	9,33	6433,33	1913,65	292,03	830	250
180	9,3	1850	2050,7	287,61	825	300

*Análise não realizada

APÊNDICE D – Resultados da análise estatística para ensaios realizados sem imersão do plástico mole no lixiviado

Tabela 18 – ANOVA para ensaio realizado sem imersão do plástico mole no lixiviado

FONTE	GL	SQ (Seq)	CONTRIBUIÇÃO (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	VALOR-P
MODELO	11	19,62	96,53	19,62	1,78	0,00
LINEAR	4	17,62	86,68	17,62	4,40	0,00
L	1	11,01	54,17	11,01	11,01	0,00
DA	2	5,97	29,37	5,97	2,98	0,00
TC	1	0,64	3,14	0,64	0,64	0,00
INTERAÇÕES DE 2 FATORES	5	1,69	8,34	1,69	0,34	0,00
L*DA	2	0,48	2,38	0,48	0,24	0,00
L*TC	1	0,51	2,54	0,51	0,51	0,00
DA*TC	2	0,69	3,42	0,69	0,35	0,00
INTERAÇÕES DE 3 FATORES	2	0,31	1,51	0,31	0,15	0,01
L*DA *TC	2	0,31	1,51	0,31	0,15	0,01
ERRO	24	0,71	3,47	0,71	0,03	
TOTAL	35	20,33	100			

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

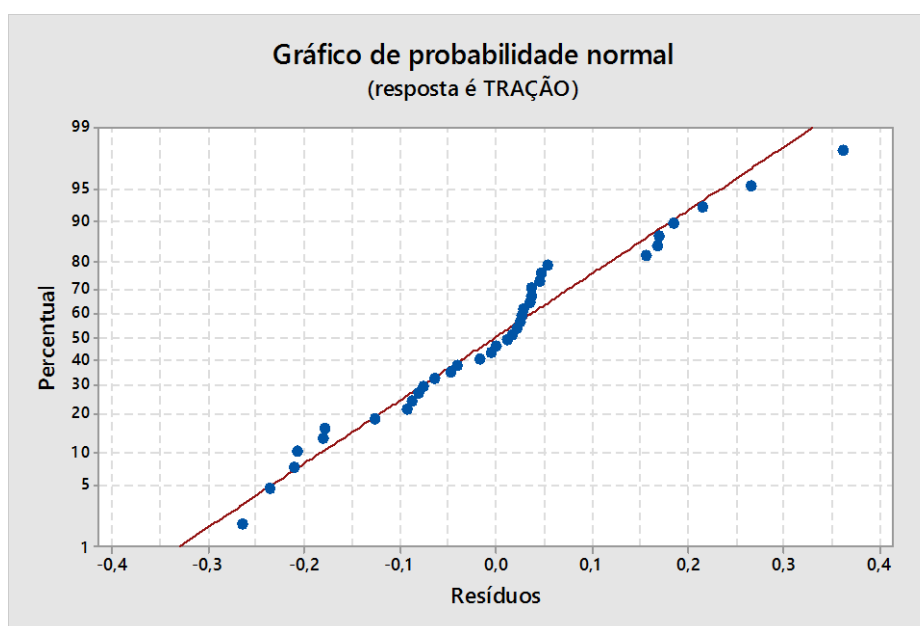


Figura 55 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole sem imersão no lixiviado

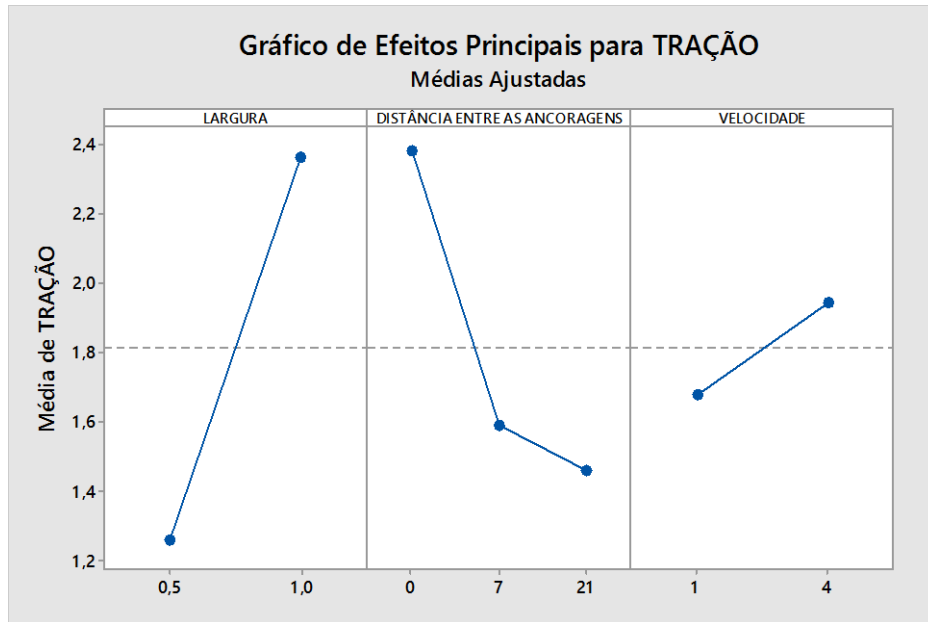


Figura 56 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole sem imersão no lixiviado

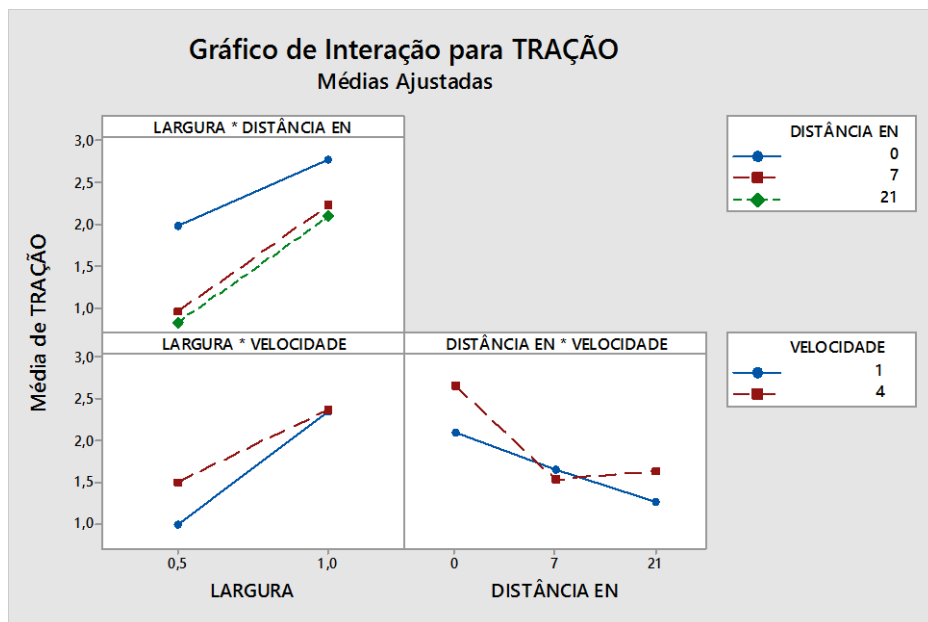


Figura 57 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole sem imersão no lixiviado

APÊNDICE E – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 15 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

Tabela 19 – ANOVA para ensaio realizado aos 15 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

FONTE	GL	SQ (Seq)	CONTRIBUIÇÃO (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	VALOR-P
MODELO	11	28,30	97,89	28,30	2,57	0,00
LINEAR	4	21,20	73,33	21,20	5,30	0,00
L	1	12,38	42,83	12,38	12,38	0,00
DA	2	6,82	23,59	6,82	3,41	0,00
TC	1	2,00	6,91	2,00	2,00	0,00
INTERAÇÕES DE 2 FATORES	5	5,26	18,20	5,26	1,05	0,00
L*DA	2	2,42	8,38	2,42	1,21	0,00
L*TC	1	0,55	1,90	0,55	0,55	0,00
DA*TC	2	2,29	7,92	2,29	1,14	0,00
INTERAÇÕES DE 3 FATORES	2	1,84	6,36	1,84	0,92	0,00
L*DA *TC	2	1,84	6,36	1,84	0,92	0,00
ERRO	24	0,61	2,11	0,61	0,03	
TOTAL	35	28,91	100			

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

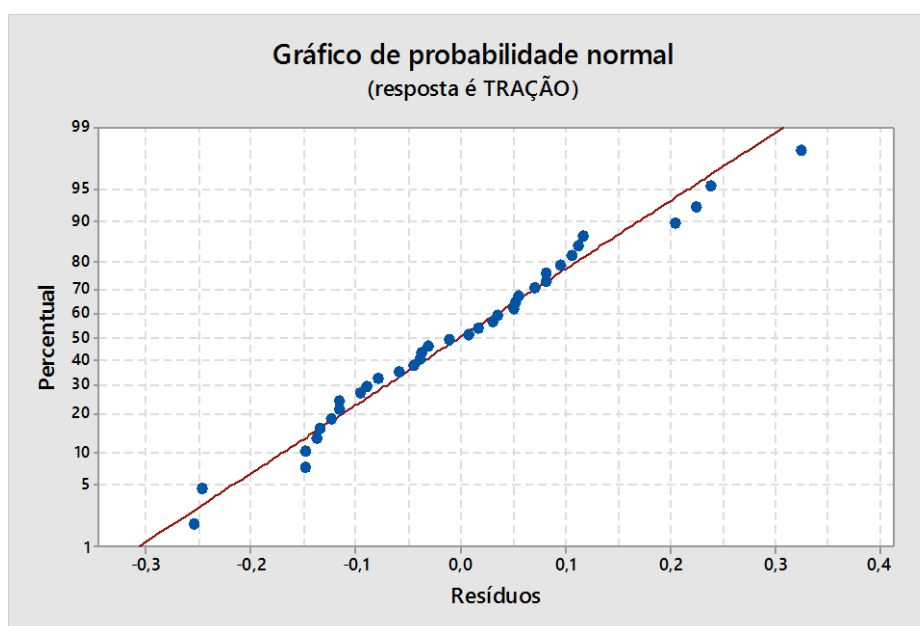


Figura 58 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 15 dias imerso no lixiviado

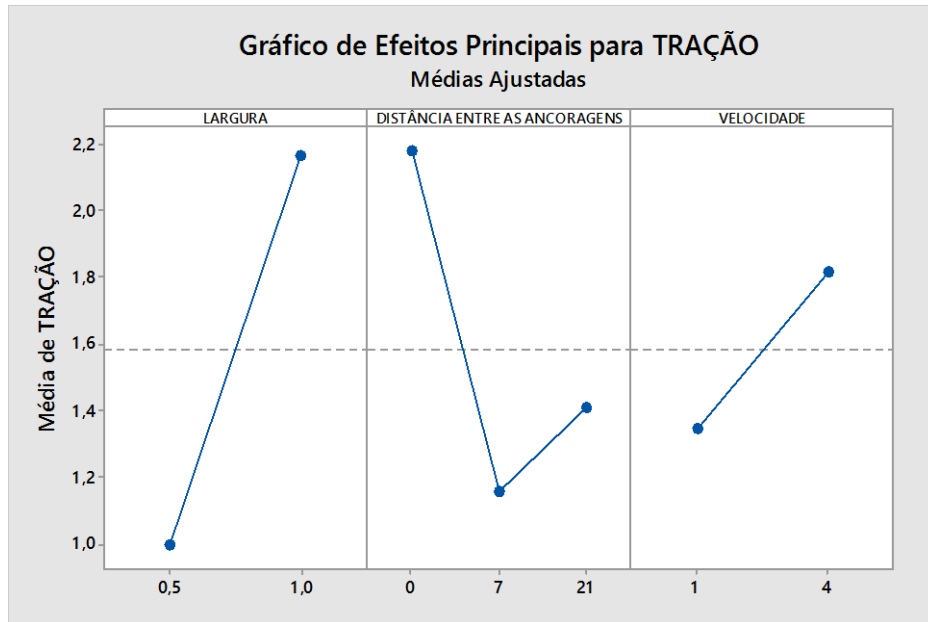


Figura 59 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 15 dias imerso no lixiviado

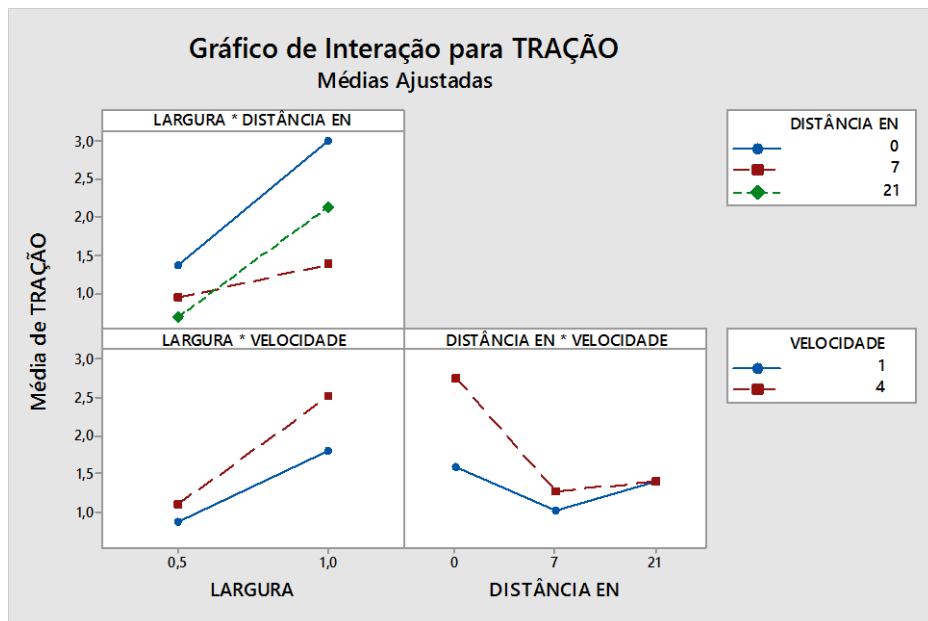


Figura 60 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 15 dias imerso no lixiviado

APÊNDICE F – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 30 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

Tabela 20 – ANOVA para ensaio realizado aos 30 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

FONTE	GL	SQ (Seq)	CONTRIBUIÇÃO (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	VALOR-P
MODELO	11	20,46	98,25	20,46	1,86	0,00
LINEAR	4	19,61	94,20	19,61	4,90	0,00
L	1	11,26	54,08	11,26	11,26	0,00
DA	2	7,05	33,85	7,05	3,52	0,00
TC	1	1,30	6,27	1,30	1,30	0,00
INTERAÇÕES DE 2 FATORES	5	0,73	3,50	0,73	0,15	0,00
L*DA	2	0,18	0,87	0,18	0,09	0,01
L*TC	1	0,44	2,13	0,44	0,44	0,00
DA*TC	2	0,10	0,50	0,10	0,05	0,05
INTERAÇÕES DE 3 FATORES	2	0,12	0,55	0,12	0,06	0,04
L*DA *TC	2	0,12	0,55	0,12	0,06	0,04
ERRO	24	0,37	1,75	0,37	0,02	
TOTAL	35	20,82	100			

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

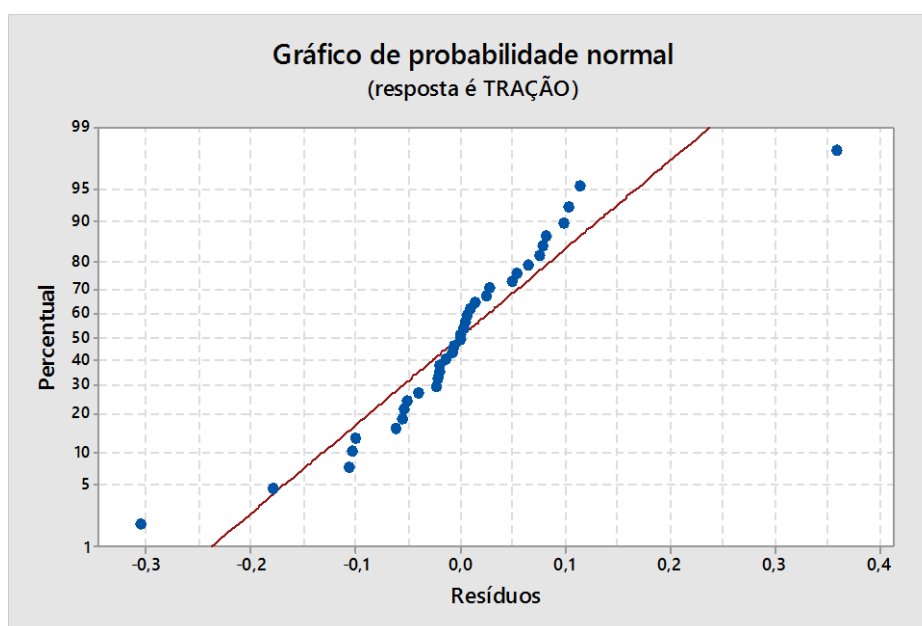


Figura 61 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 30 dias imerso no lixiviado

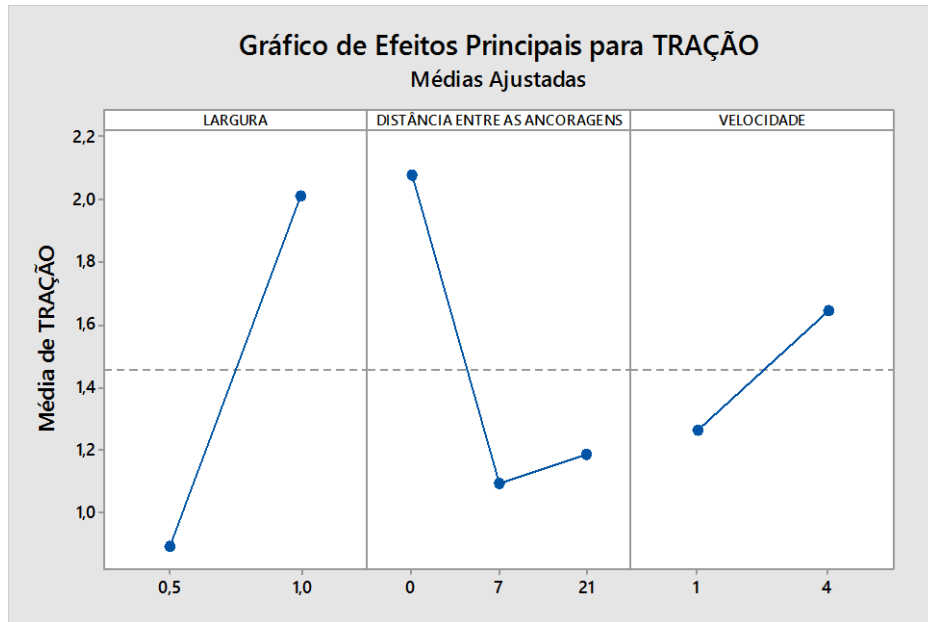


Figura 62 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 30 dias imerso no lixiviado

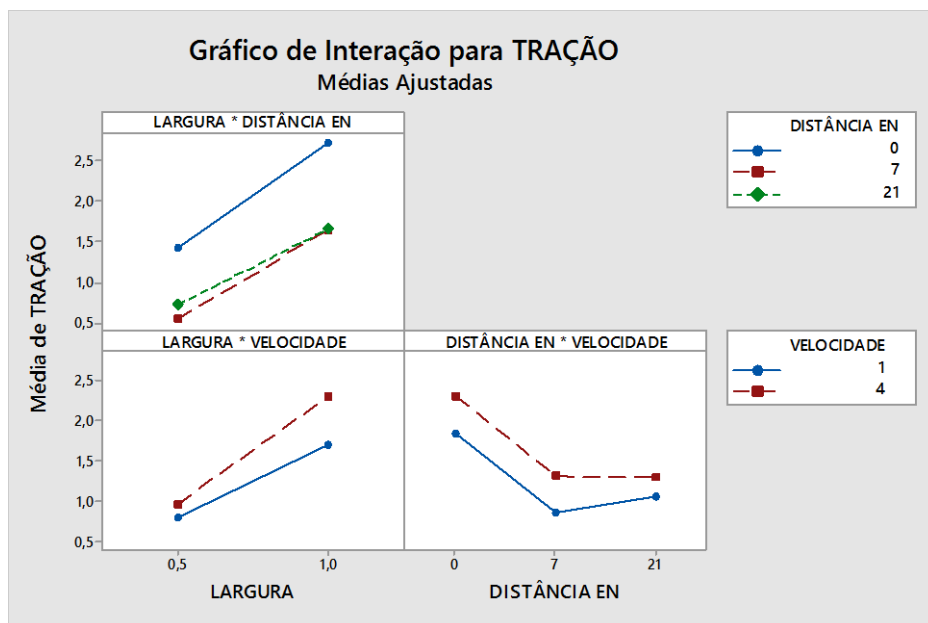


Figura 63 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 30 dias imerso no lixiviado

APÊNDICE G – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 45 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

Tabela 21 – ANOVA para ensaio realizado aos 45 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

FONTE	GL	SQ (Seq)	CONTRIBUIÇÃO (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	VALOR-P
MODELO	11	39,16	98,71	39,16	3,56	0,00
LINEAR	4	36,07	90,92	36,07	9,02	0,00
L	1	10,53	26,53	10,53	10,53	0,00
DA	2	24,91	62,79	24,91	12,45	0,00
TC	1	0,63	1,59	0,63	0,63	0,00
INTERAÇÕES DE 2 FATORES	5	2,97	7,48	2,97	0,59	0,00
L*DA	2	2,13	5,36	2,13	1,06	0,00
L*TC	1	0,66	1,67	0,66	0,66	0,00
DA*TC	2	0,18	0,45	0,18	0,09	0,03
INTERAÇÕES DE 3 FATORES	2	0,12	0,31	0,12	0,06	0,07
L*DA *TC	2	0,12	0,31	0,12	0,06	0,07
ERRO	24	0,51	1,29	0,51	0,02	
TOTAL	35	39,67	100			

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

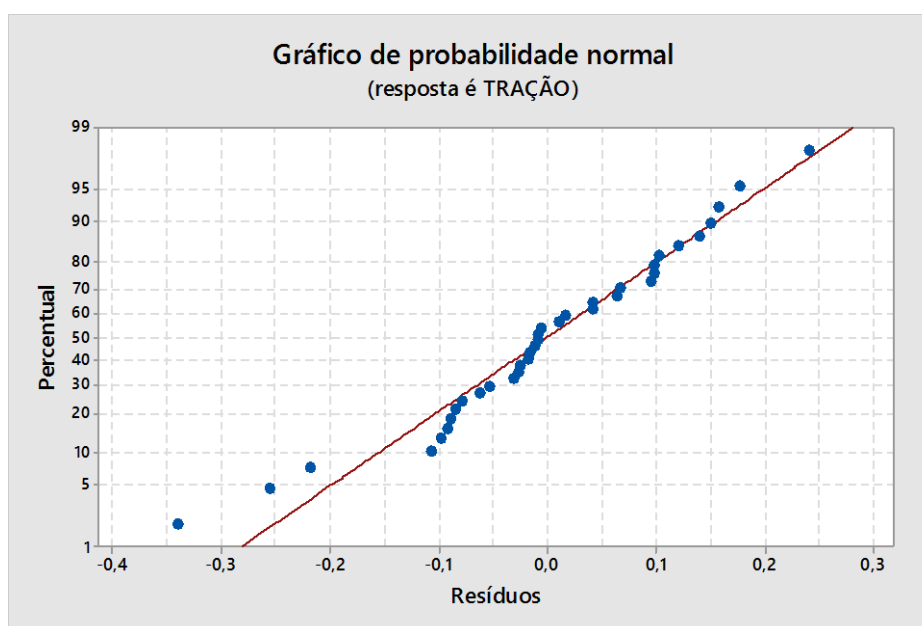


Figura 64 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 45 dias imerso no lixiviado

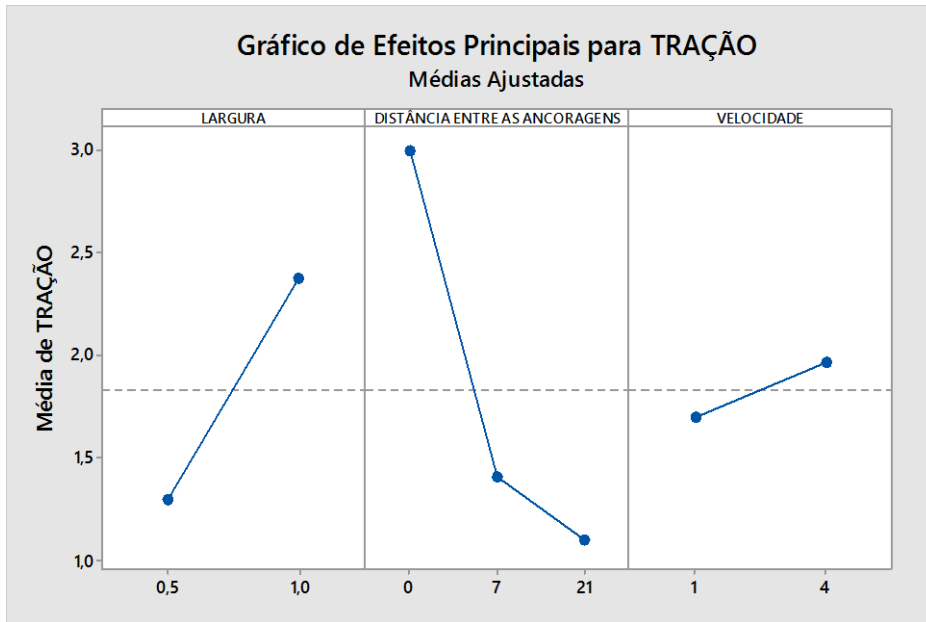


Figura 65 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 45 dias imerso no lixiviado

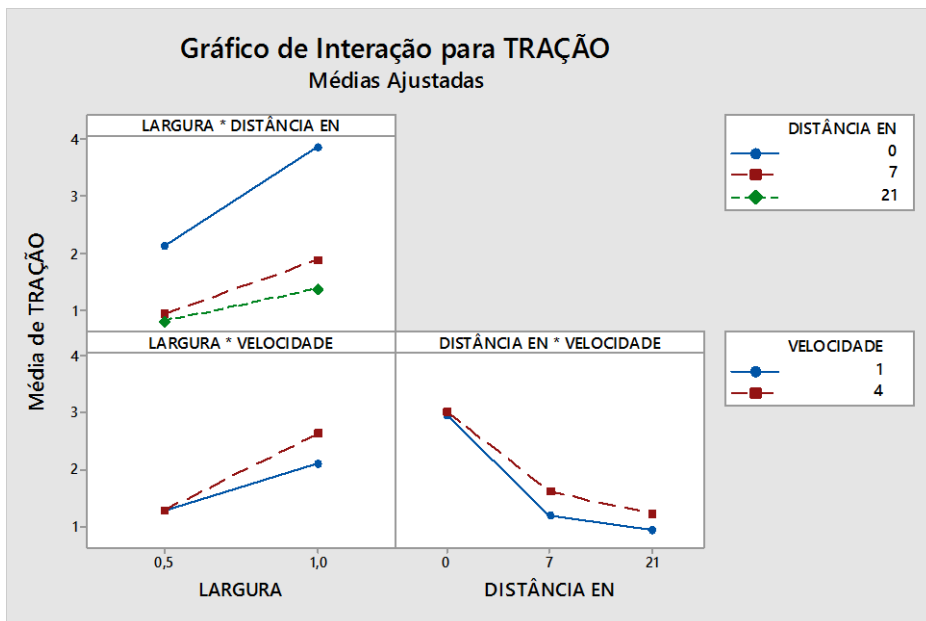


Figura 66 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 45 dias imerso no lixiviado

APÊNDICE H – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 60 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

Tabela 22 – ANOVA para ensaio realizado aos 60 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

FONTE	GL	SQ (Seq)	CONTRIBUIÇÃO (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	VALOR-P
MODELO	11	19,43	98,14	19,43	1,77	0
LINEAR	4	17,09	86,30	17,09	4,27	0
L	1	11,80	59,57	11,80	11,80	0
DA	2	3,69	18,61	3,69	1,84	0
TC	1	1,61	8,12	1,61	1,61	0
INTERAÇÕES DE 2 FATORES	5	2,21	11,18	2,21	0,44	0
L*DA	2	0,92	4,67	0,92	0,46	0
L*TC	1	0,38	1,93	0,38	0,38	0
DA*TC	2	0,91	4,59	0,91	0,45	0
INTERAÇÕES DE 3 FATORES	2	0,13	0,65	0,13	0,06	0,03
L*DA *TC	2	0,13	0,65	0,13	0,06	0,03
ERRO	24	0,37	1,86	0,37	0,02	
TOTAL	35	19,80	100,00			

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

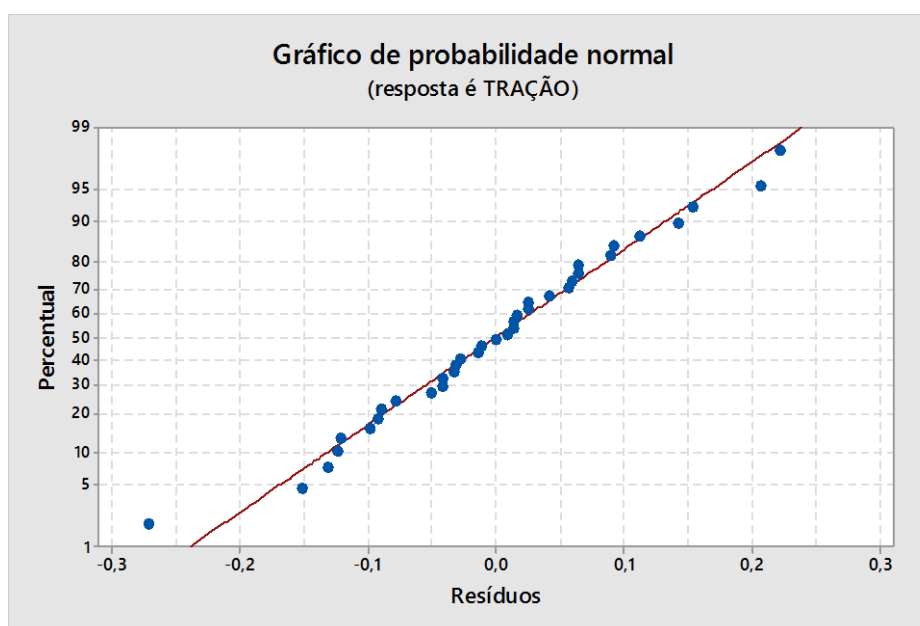


Figura 67 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 60 dias imerso no lixiviado

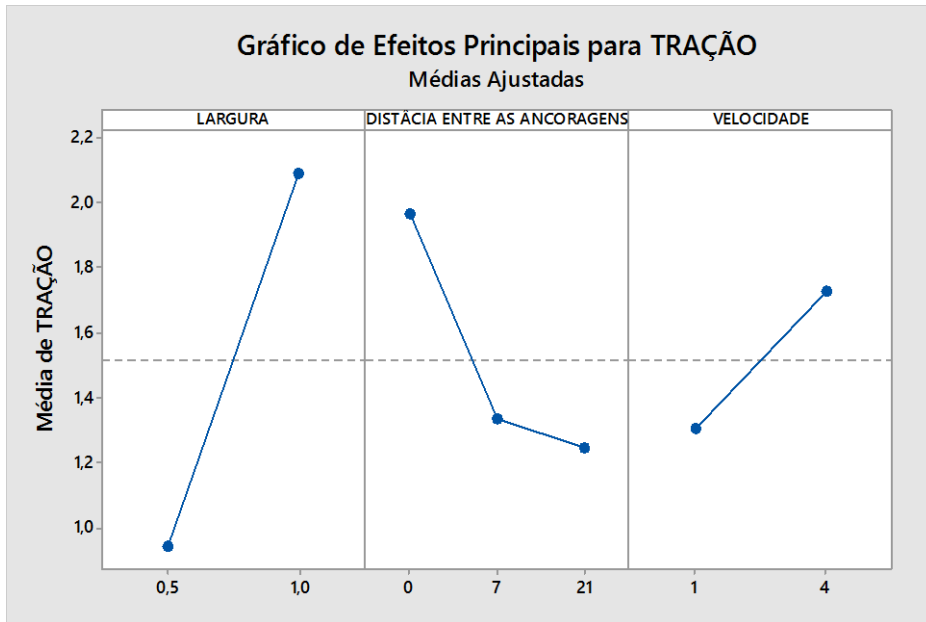


Figura 68 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 60 dias imerso no lixiviado

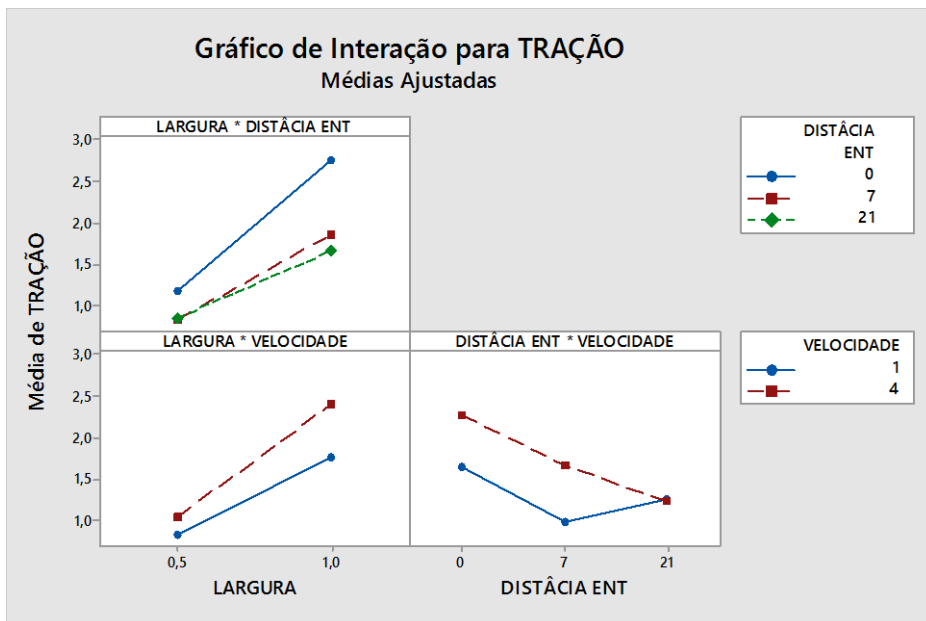


Figura 69 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 60 dias imerso no lixiviado

APÊNDICE I – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 75 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

Tabela 23 – ANOVA para ensaio realizado aos 75 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

FONTE	GL	SQ (Seq)	CONTRIBUIÇÃO (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	VALOR-P
MODELO	11	28,63	99,16	28,63	2,60	0,00
LINEAR	4	26,31	91,11	26,31	6,58	0,00
L	1	18,49	64,02	18,49	18,49	0,00
DA	2	6,78	23,47	6,78	3,39	0,00
TC	1	1,04	3,62	1,04	1,04	0,00
INTERAÇÕES DE 2 FATORES	5	2,14	7,41	2,14	0,43	0,00
L*DA	2	1,94	6,73	1,94	0,97	0,00
L*TC	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83
DA*TC	2	0,19	0,67	0,19	0,10	0,00
INTERAÇÕES DE 3 FATORES	2	0,18	0,64	0,18	0,09	0,00
L*DA *TC	2	0,18	0,64	0,18	0,09	0,00
ERRO	24	0,24	0,84	0,24	0,01	
TOTAL	35	28,88	100			

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

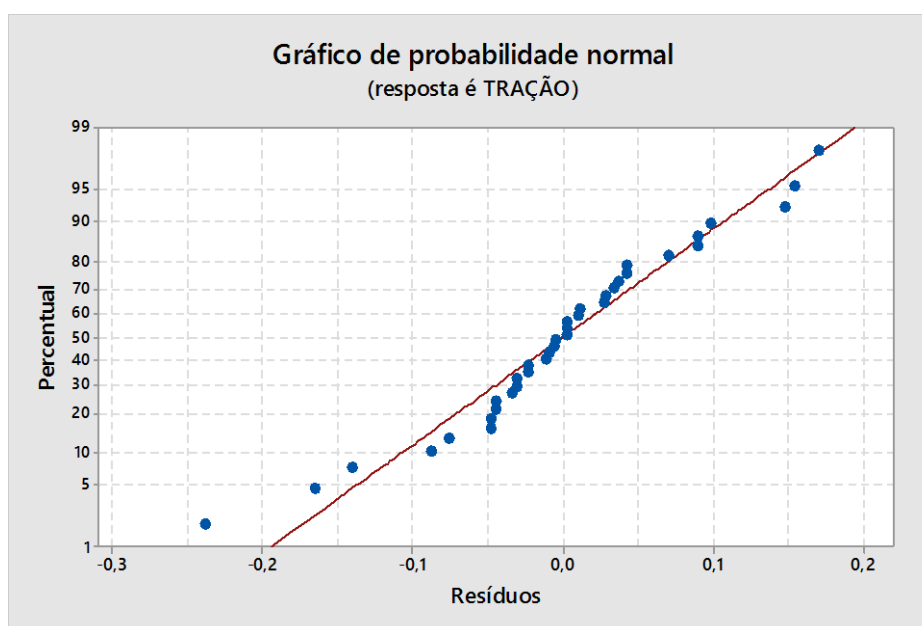


Figura 70 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 75 dias imerso no lixiviado

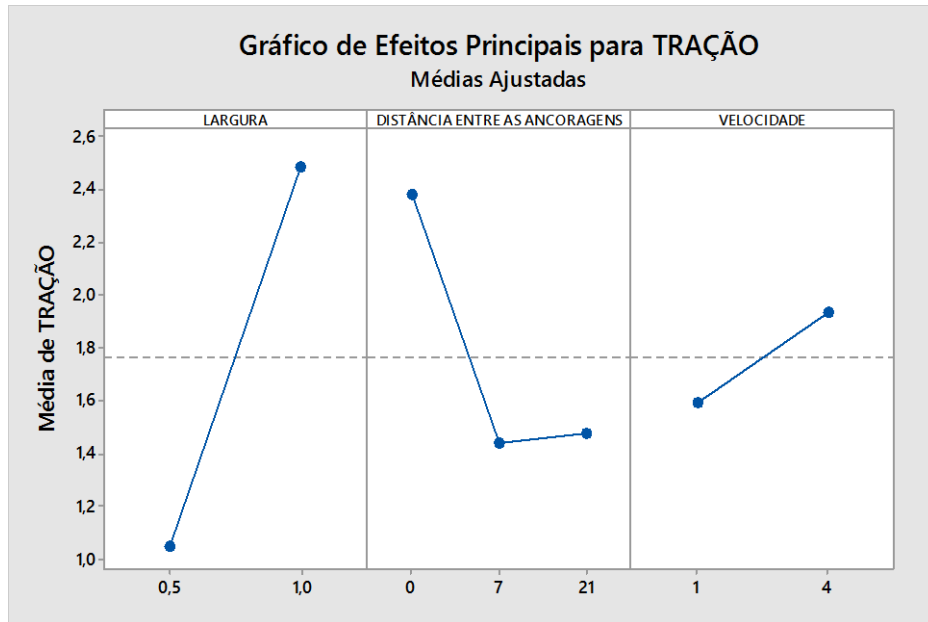


Figura 71 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 75 dias imerso no lixiviado

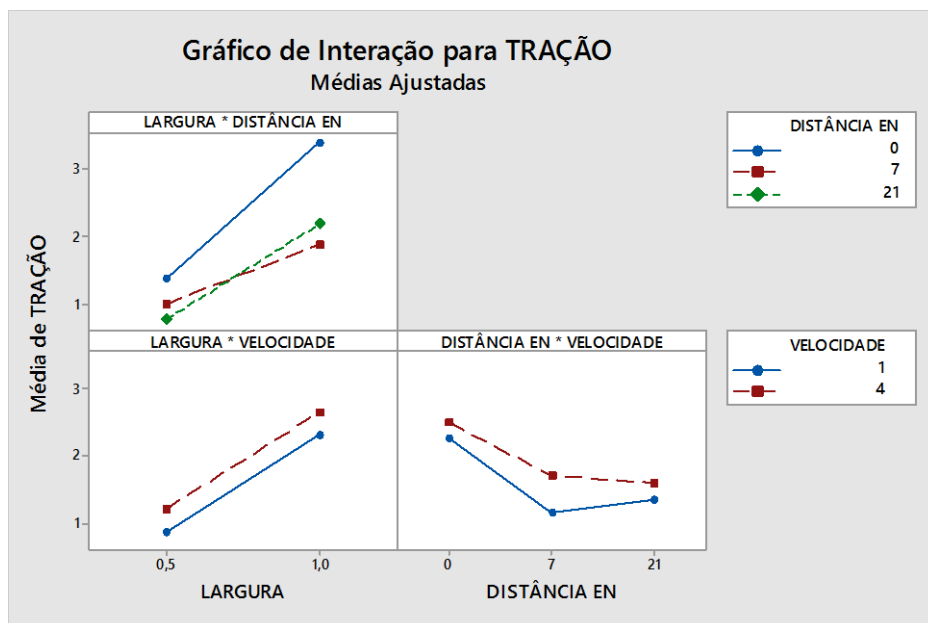


Figura 72 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 75 dias imerso no lixiviado

APÊNDICE J – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 90 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

Tabela 24 – ANOVA para ensaio realizado aos 90 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

FONTE	GL	SQ (Seq)	CONTRIBUIÇÃO (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	VALOR-P
MODELO	11	35,08	98,92	35,08	3,19	0,00
LINEAR	4	32,44	91,49	32,44	8,11	0,00
L	1	24,40	68,81	24,40	24,40	0,00
DA	2	4,84	13,66	4,84	2,42	0,00
TC	1	3,20	9,02	3,20	3,20	0,00
INTERAÇÕES DE 2 FATORES	5	2,38	6,72	2,38	0,48	0,00
L*DA	2	1,48	4,19	1,48	0,74	0,00
L*TC	1	0,40	1,13	0,40	0,40	0,00
DA*TC	2	0,50	1,40	0,50	0,25	0,00
INTERAÇÕES DE 3 FATORES	2	0,25	0,71	0,25	0,13	0,00
L*DA *TC	2	0,25	0,71	0,25	0,13	0,00
ERRO	24	0,38	1,08	0,38	0,02	
TOTAL	35	35,46	100			

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

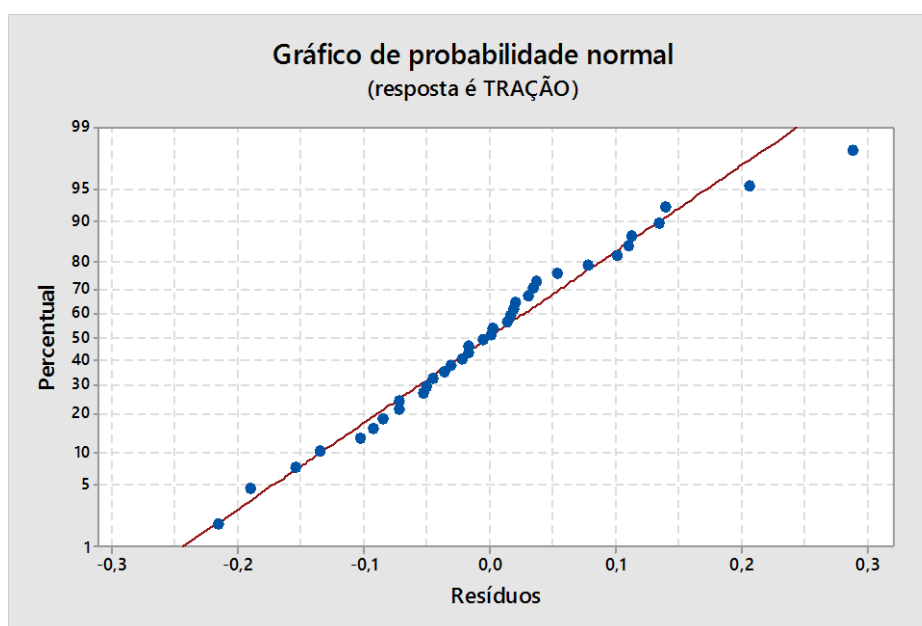


Figura 73 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 90 dias imerso no lixiviado

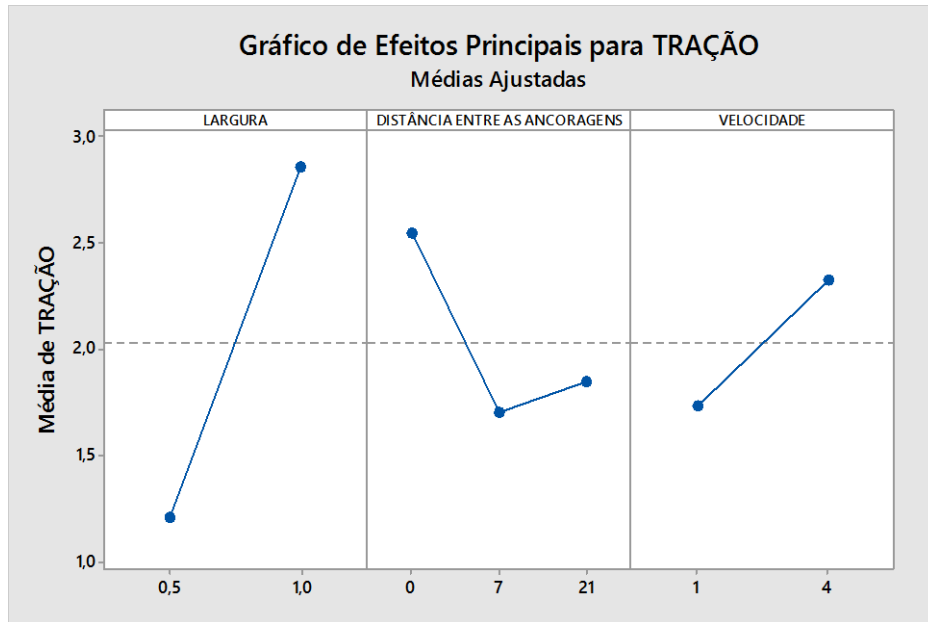


Figura 74 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 90 dias imerso no lixiviado

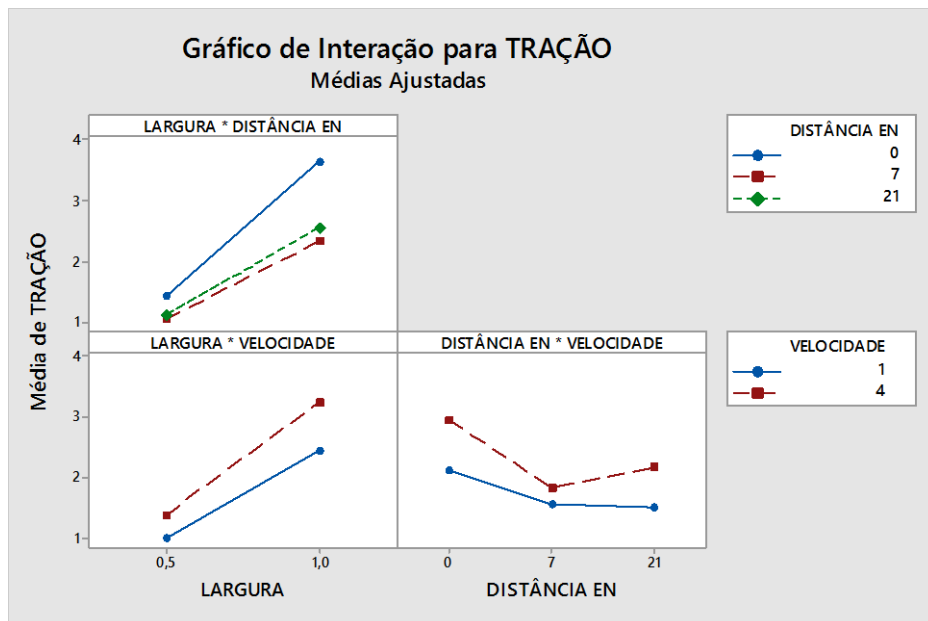


Figura 75 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 90 dias imerso no lixiviado

APÊNDICE K – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 105 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

Tabela 25 – ANOVA para ensaio realizado aos 105 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

FONTE	GL	SQ (Seq)	CONTRIBUIÇÃO (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	VALOR-P
MODELO	11	51,03	99,04	51,03	4,64	0,00
LINEAR	4	46,37	89,99	46,37	11,59	0,00
L	1	28,86	56,01	28,86	28,86	0,00
DA	2	13,82	26,82	13,82	6,91	0,00
TC	1	3,69	7,15	3,69	3,69	0,00
INTERAÇÕES DE 2 FATORES	5	3,98	7,72	3,98	0,80	0,00
L*DA	2	1,48	2,87	1,48	0,74	0,00
L*TC	1	0,32	0,62	0,32	0,32	0,00
DA*TC	2	2,18	4,23	2,18	1,09	0,00
INTERAÇÕES DE 3 FATORES	2	0,69	1,34	0,69	0,34	0,00
L*DA *TC	2	0,69	1,34	0,69	0,34	0,00
ERRO	24	0,49	0,96	0,49	0,02	
TOTAL	35	51,52	100			

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

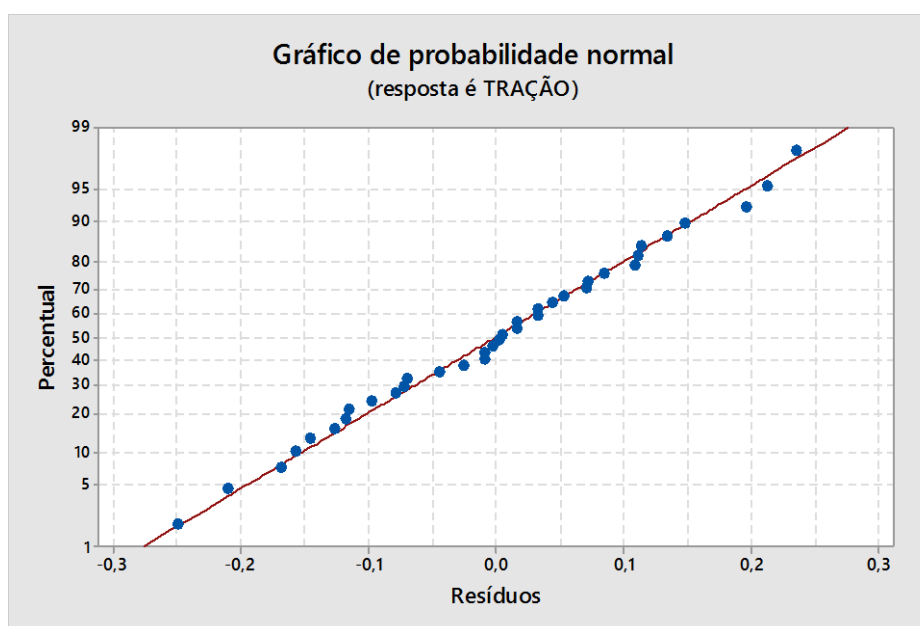


Figura 76 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 105 dias imerso no lixiviado

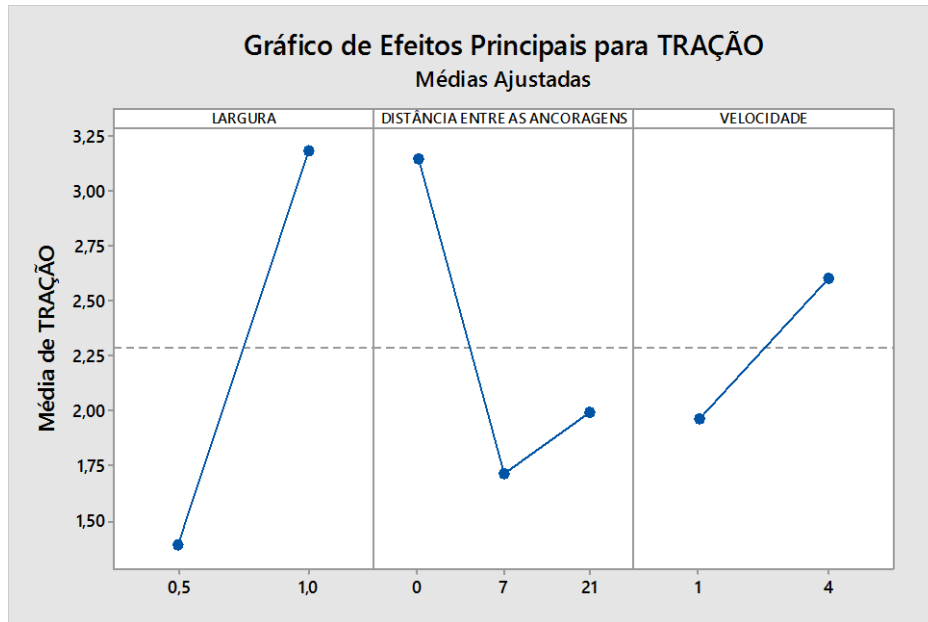


Figura 77 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 105 dias imerso no lixiviado

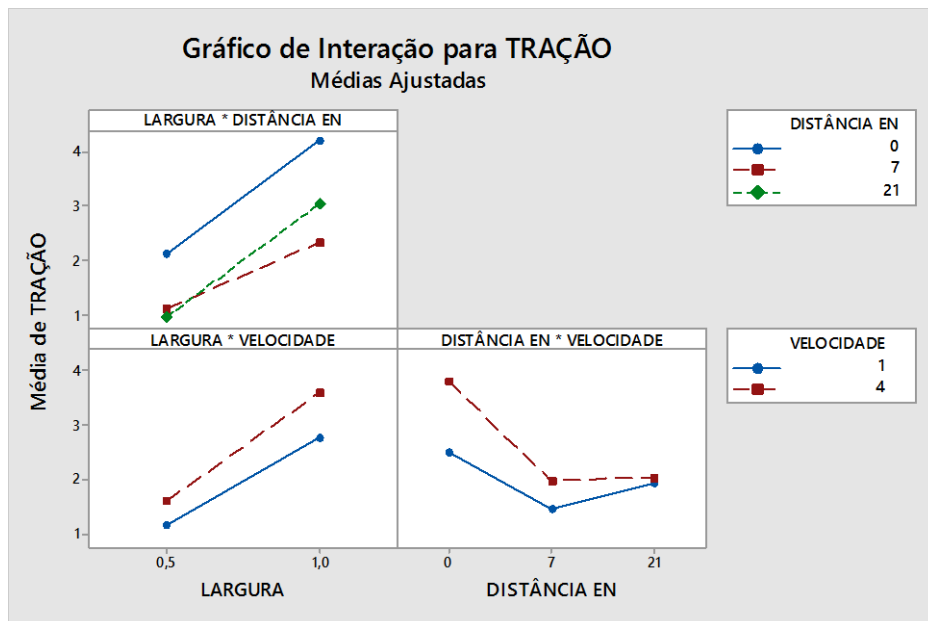


Figura 78 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 105 dias imerso no lixiviado

APÊNDICE L – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 120 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

Tabela 26 – ANOVA para ensaio realizado aos 120 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

FONTE	GL	SQ (Seq)	CONTRIBUIÇÃO (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	VALOR-P
MODELO	11	30,39	95,54	30,39	2,76	0,00
LINEAR	4	28,72	90,28	28,72	7,18	0,00
L	1	24,73	77,75	24,73	24,73	0,00
DA	2	2,82	8,88	2,82	1,41	0,00
TC	1	1,16	3,66	1,16	1,16	0,00
INTERAÇÕES DE 2 FATORES	5	1,58	4,98	1,58	0,32	0,00
L*DA	2	1,32	4,14	1,32	0,66	0,00
L*TC	1	0,06	0,18	0,06	0,06	0,33
DA*TC	2	0,21	0,66	0,21	0,10	0,19
INTERAÇÕES DE 3 FATORES	2	0,09	0,28	0,09	0,04	0,48
L*DA *TC	2	0,09	0,28	0,09	0,04	0,48
ERRO	24	1,42	4,46	1,42	0,06	
TOTAL	35	31,81	100			

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

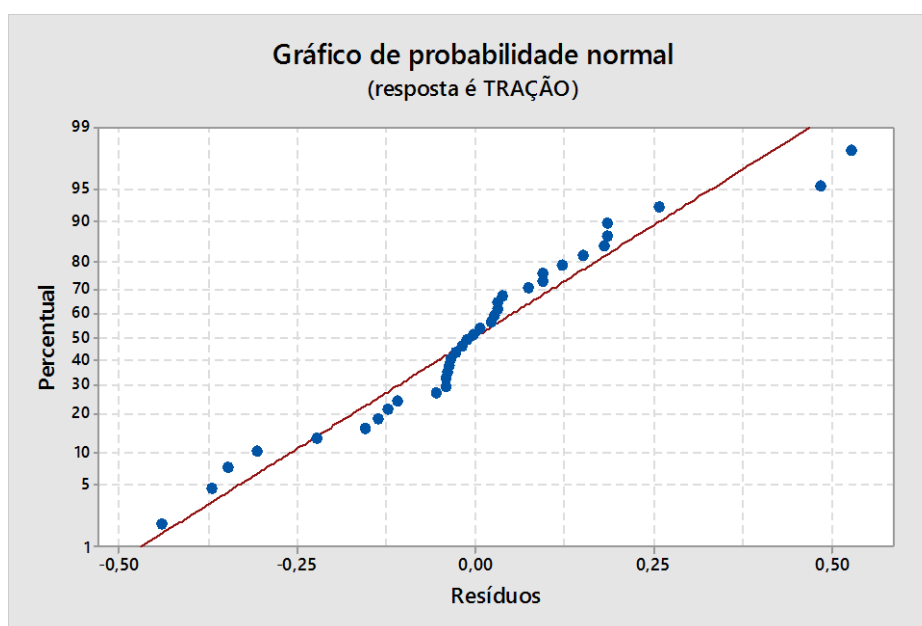


Figura 79 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 120 dias imerso no lixiviado

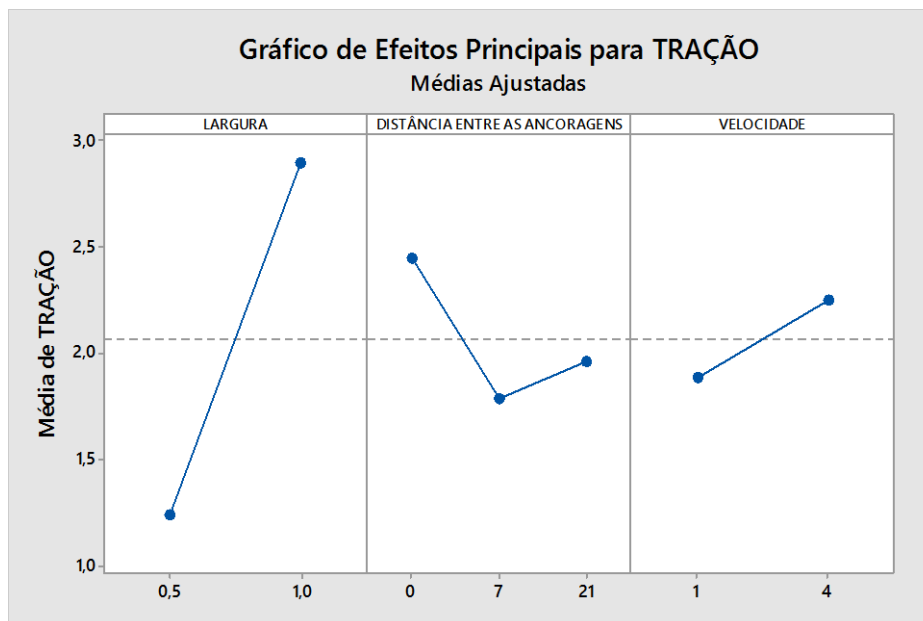


Figura 80 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 120 dias imerso no lixiviado

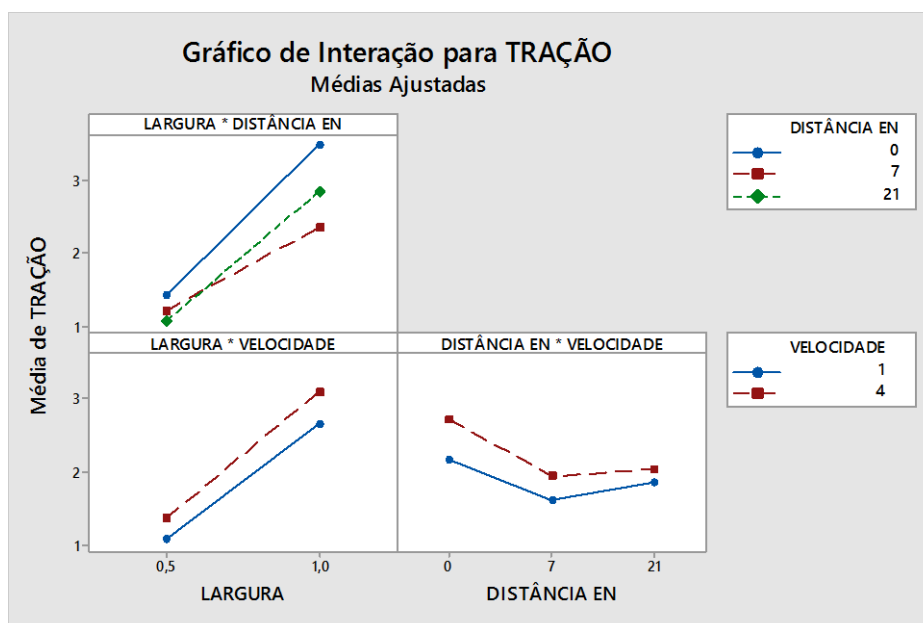


Figura 81 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 120 dias imerso no lixiviado

APÊNDICE M – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 135 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

Tabela 27 – ANOVA para ensaio realizado aos 135 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

FONTE	GL	SQ (Seq)	CONTRIBUIÇÃO (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	VALOR-P
MODELO	11	23,43	98,01	23,43	2,13	0
LINEAR	4	21,23	88,80	21,23	5,31	0
L	1	14,77	61,79	14,77	14,77	0
DA	2	5,76	24,08	5,76	2,88	0
TC	1	0,70	2,93	0,70	0,70	0
INTERAÇÕES DE 2 FATORES	5	1,33	5,56	1,33	0,27	0
L*DA	2	1,20	5,02	1,20	0,60	0
L*TC	1	0,09	0,38	0,09	0,09	0,04
DA*TC	2	0,04	0,16	0,04	0,02	0,40
INTERAÇÕES DE 3 FATORES	2	0,87	3,65	0,87	0,44	0
L*DA *TC	2	0,87	3,65	0,87	0,44	0
ERRO	24	0,48	1,99	0,48	0,02	
TOTAL	35	23,91	100			

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

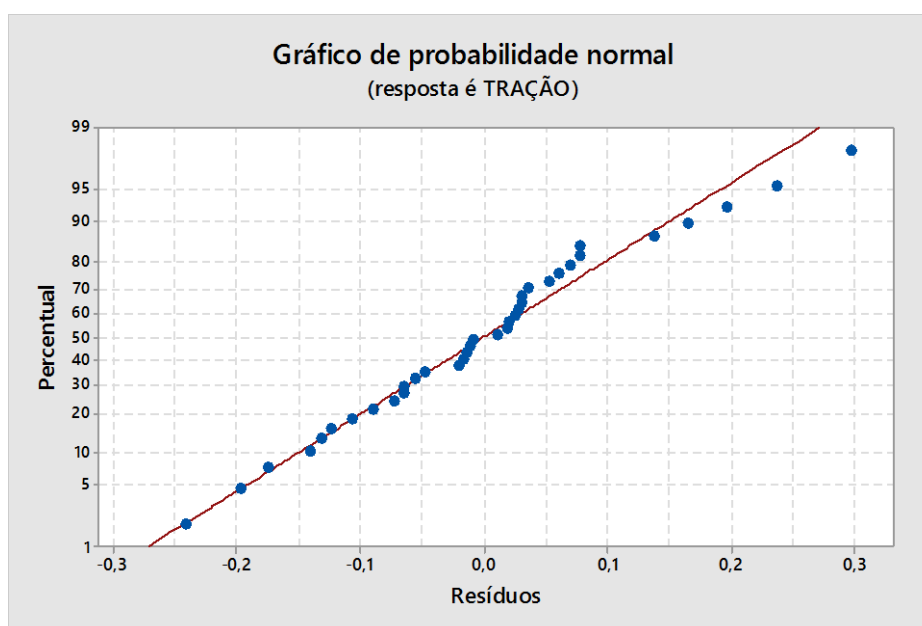


Figura 82 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 135 dias imerso no lixiviado

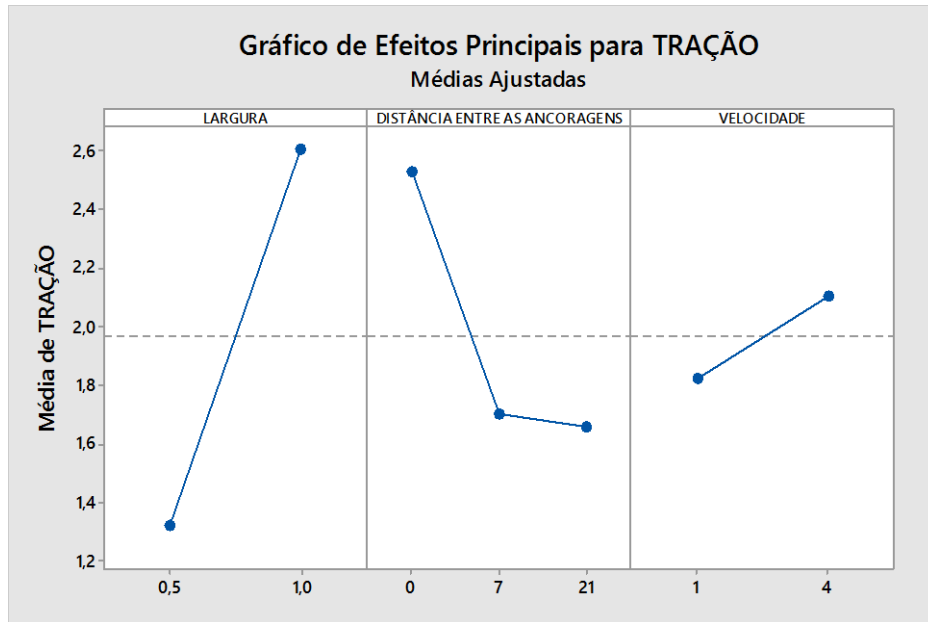


Figura 83 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 135 dias imerso no lixiviado

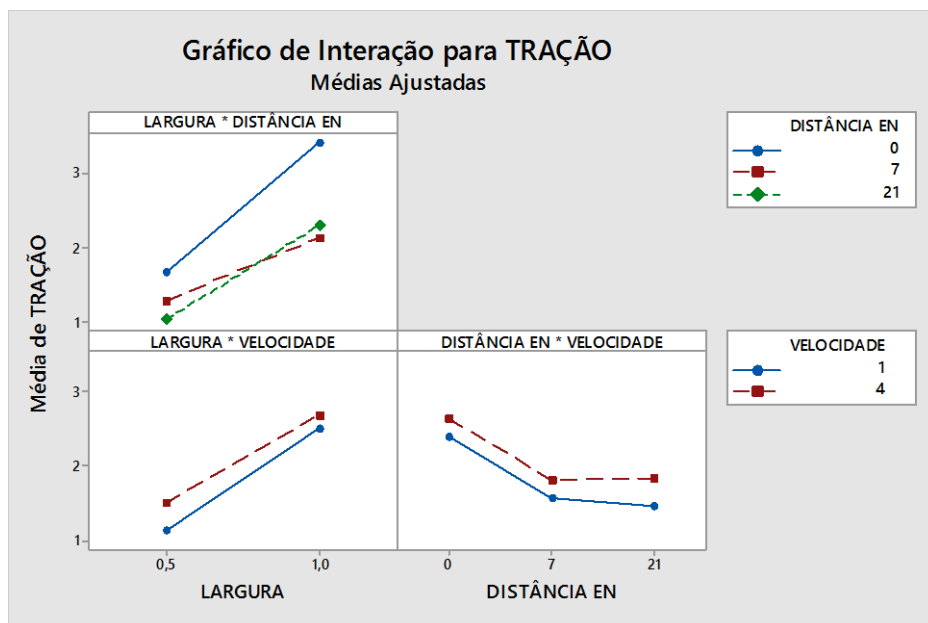


Figura 84 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 135 dias imerso no lixiviado

APÊNDICE N – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 150 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

Tabela 28 – ANOVA para ensaio realizado aos 150 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

FONTE	GL	SQ (Seq)	CONTRIBUIÇÃO (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	VALOR-P
MODELO	11	37,10	98,76	37,10	3,37	0,00
LINEAR	4	34,82	92,69	34,82	8,70	0,00
L	1	25,10	66,82	25,10	25,10	0,00
DA	2	4,49	11,94	4,49	2,24	0,00
TC	1	5,23	13,92	5,23	5,23	0,00
INTERAÇÕES DE 2 FATORES	5	1,75	4,66	1,75	0,35	0,00
L*DA	2	0,83	2,22	0,83	0,42	0,00
L*TC	1	0,55	1,48	0,55	0,55	0,00
DA*TC	2	0,36	0,97	0,36	0,18	0,00
INTERAÇÕES DE 3 FATORES	2	0,53	1,42	0,53	0,27	0,00
L*DA *TC	2	0,53	1,42	0,53	0,27	0,00
ERRO	24	0,46	1,24	0,46	0,02	
TOTAL	35	37,57	100			

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

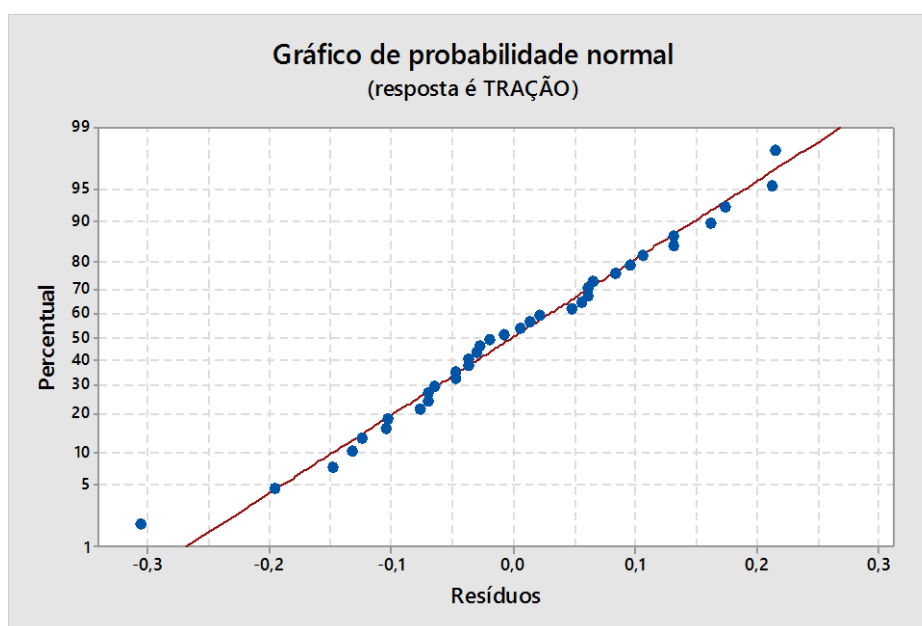


Figura 85 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 150 dias imerso no lixiviado

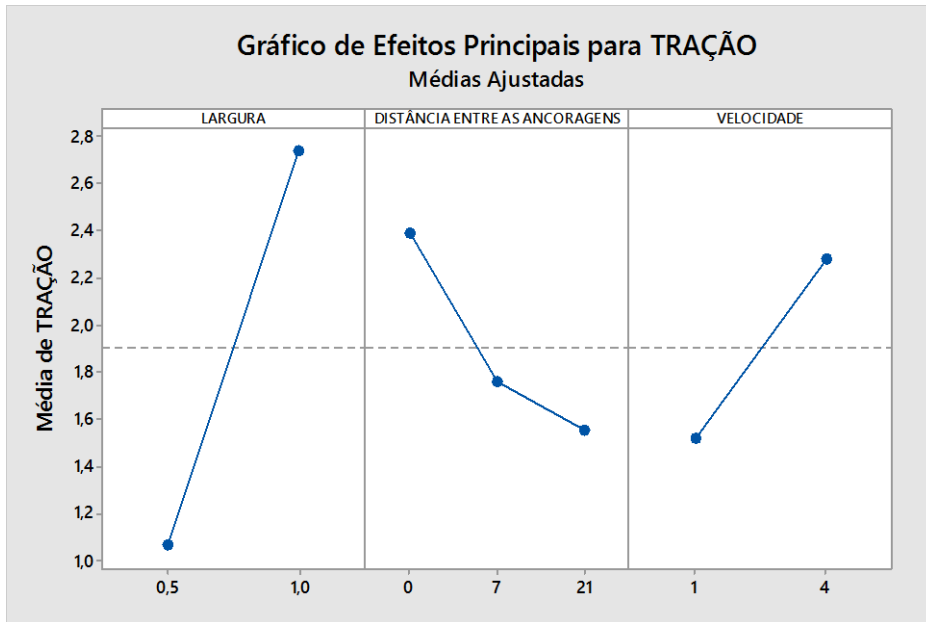


Figura 86 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 150 dias imerso no lixiviado

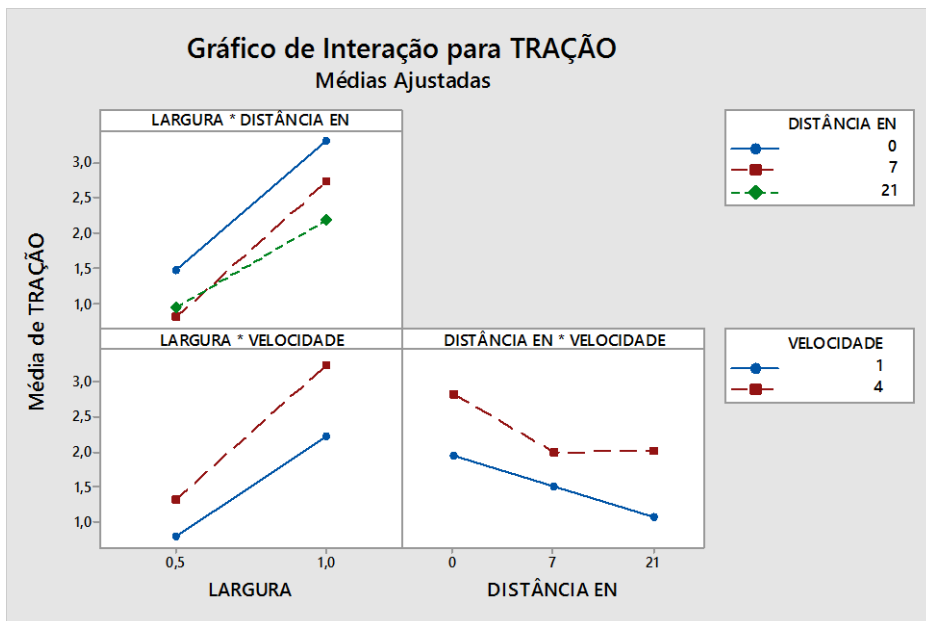


Figura 87 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 150 dias imerso no lixiviado

APÊNDICE O – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 165 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

Tabela 29 – ANOVA para ensaio realizado aos 165 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

FONTE	GL	SQ (Seq)	CONTRIBUIÇÃO (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	VALOR-P
MODELO	11	34,45	99,06	34,45	3,13	0,00
LINEAR	4	29,52	84,88	29,52	7,38	0,00
L	1	19,63	56,43	19,63	19,63	0,00
DA	2	7,36	21,17	7,36	3,68	0,00
TC	1	2,53	7,28	2,53	2,53	0,00
INTERAÇÕES DE 2 FATORES	5	4,88	14,02	4,88	0,98	0,00
L*DA	2	4,44	12,77	4,44	2,22	0,00
L*TC	1	0,08	0,24	0,08	0,08	0,02
DA*TC	2	0,35	1,01	0,35	0,18	0,00
INTERAÇÕES DE 3 FATORES	2	0,05	0,15	0,05	0,03	0,16
L*DA *TC	2	0,05	0,15	0,05	0,03	0,16
ERRO	24	0,33	0,94	0,33	0,01	
TOTAL	35	34,78	100			

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

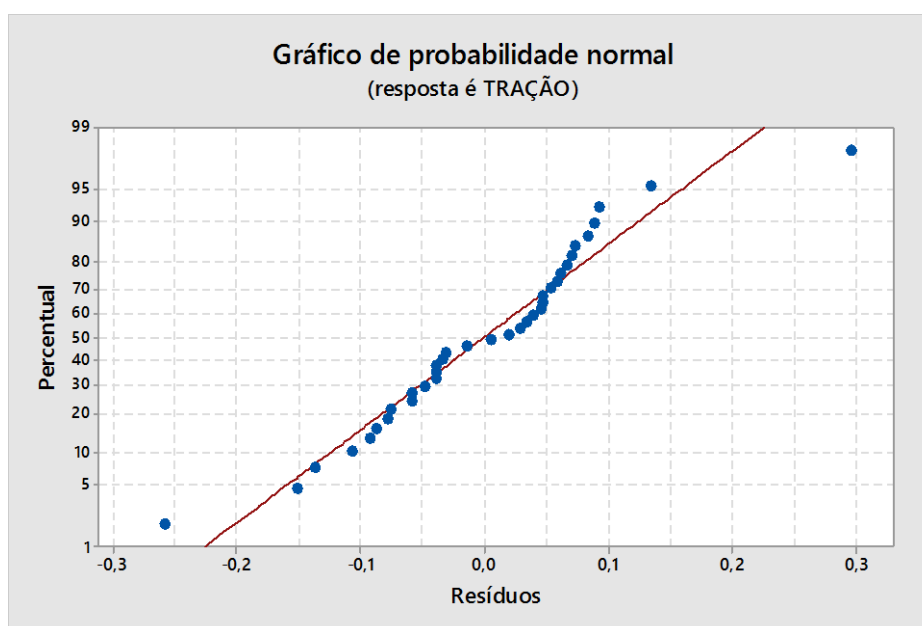


Figura 88 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 165 dias imerso no lixiviado

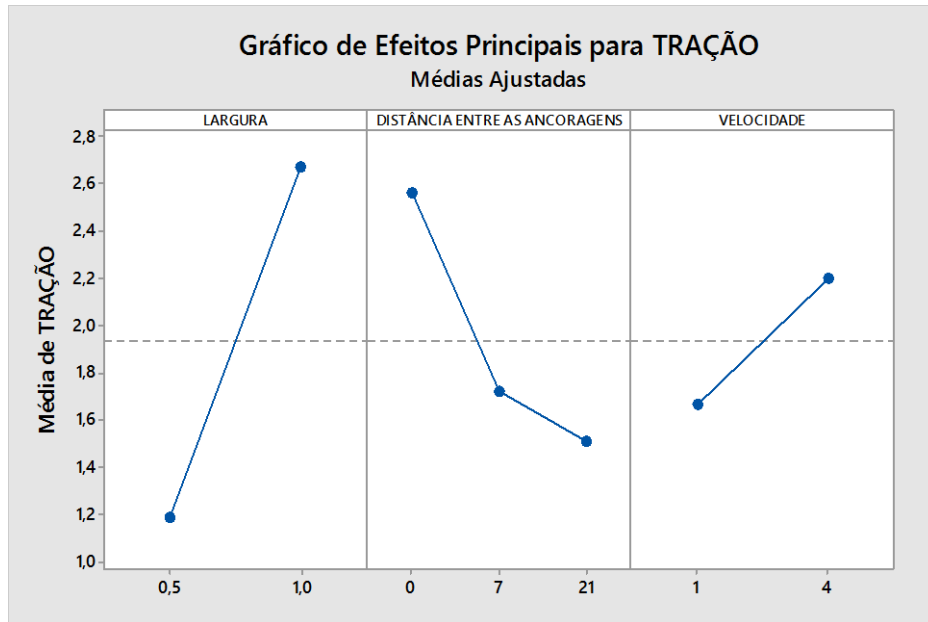


Figura 89 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 165 dias imerso no lixiviado

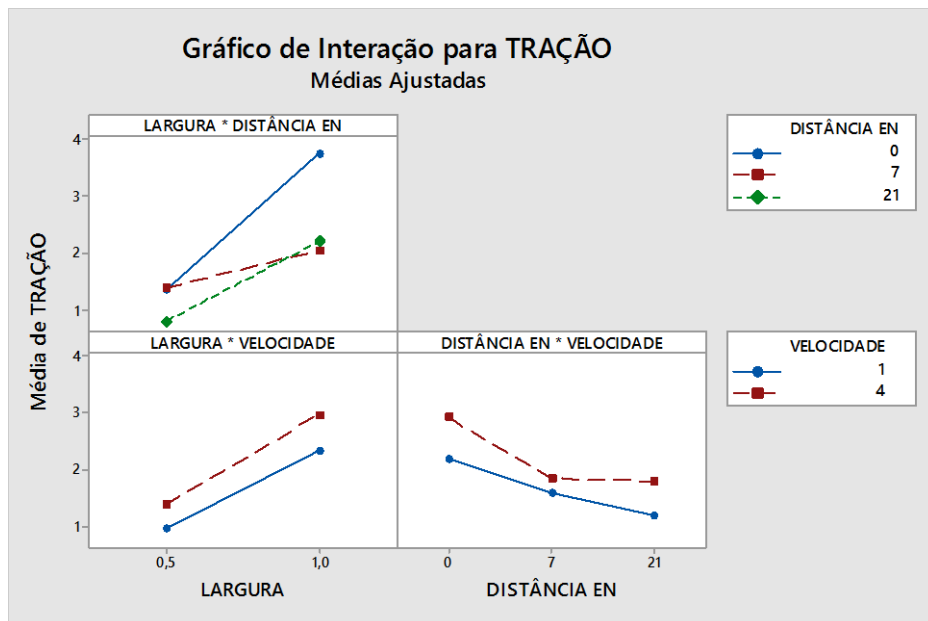


Figura 90 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 165 dias imerso no lixiviado

APÊNDICE P – Resultados da análise estatística para ensaios realizados aos 180 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

Tabela 30 – ANOVA para ensaio realizado aos 180 dias de imersão do plástico mole no lixiviado

FONTE	GL	SQ (Seq)	CONTRIBUIÇÃO (%)	SQ (Aj)	QM (Aj)	VALOR-P
MODELO	11	50,01	99,38	50,01	4,55	0,00
LINEAR	4	40,71	80,90	40,71	10,18	0,00
L	1	21,64	43,00	21,64	21,64	0,00
DA	2	15,19	30,18	15,19	7,59	0,00
TC	1	3,88	7,72	3,88	3,88	0,00
INTERAÇÕES DE 2 FATORES	5	8,06	16,01	8,06	1,61	0,00
L*DA	2	2,35	4,66	2,35	1,17	0,00
L*TC	1	0,85	1,69	0,85	0,85	0,00
DA*TC	2	4,86	9,66	4,86	2,43	0,00
INTERAÇÕES DE 3 FATORES	2	1,24	2,46	1,24	0,62	0,00
L*DA *TC	2	1,24	2,46	1,24	0,62	0,00
ERRO	24	0,31	0,62	0,31	0,01	
TOTAL	35	50,32	100			

L – Largura, DA – Distância entre as ancoragens, TC – Taxa de carregamento

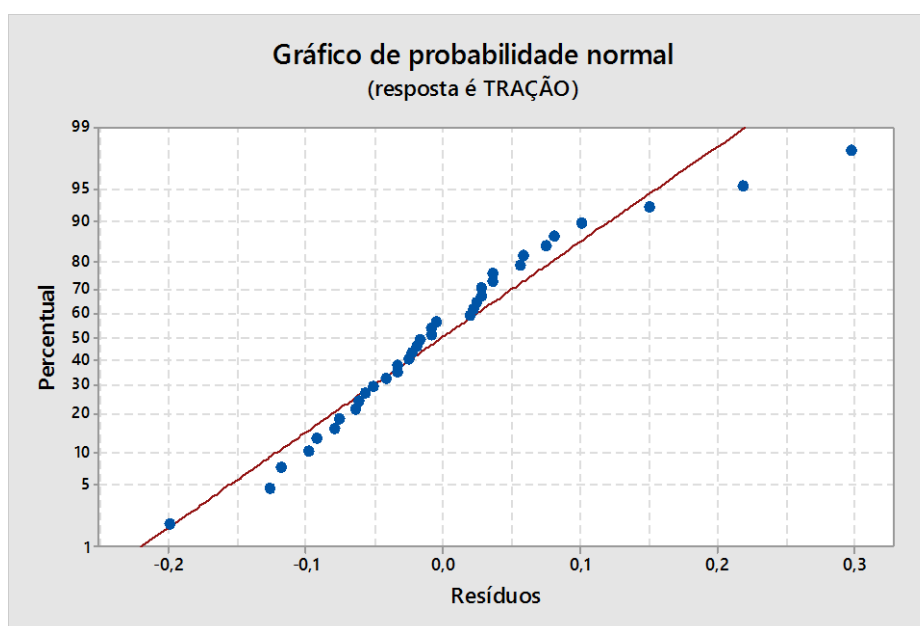


Figura 91 – Probabilidade normal dos resíduos obtidos para ensaios com o plástico mole 180 dias imerso no lixiviado

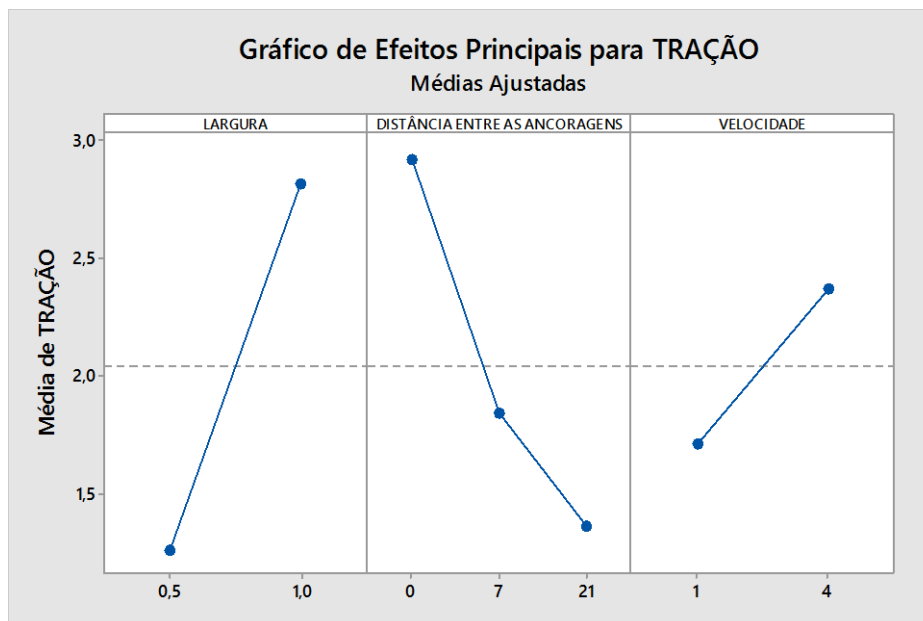


Figura 92 – Efeitos principais para ensaios com o plástico mole 180 dias imerso no lixiviado

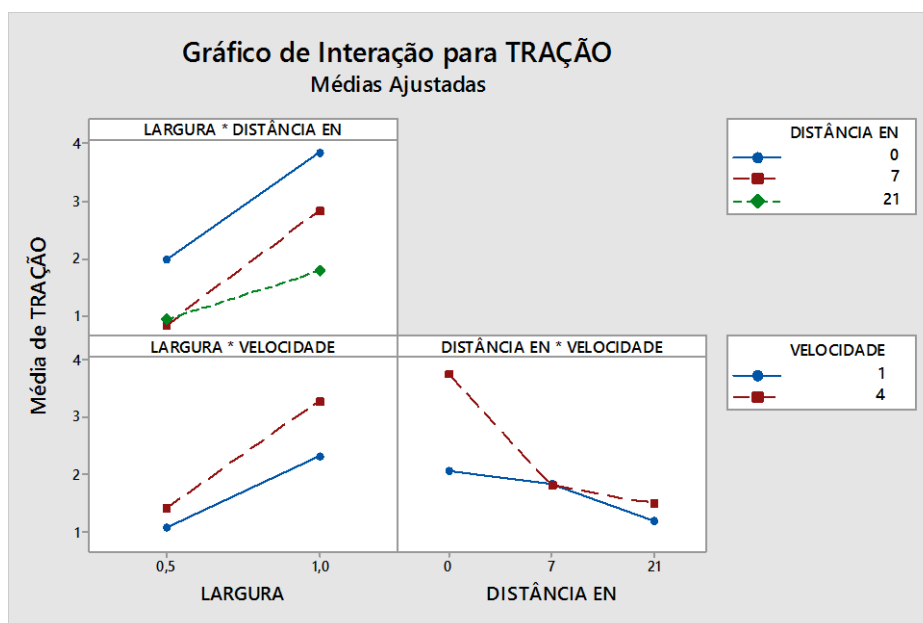


Figura 93 – Interação dos fatores para ensaios com o plástico mole 180 dias imerso no lixiviado