

Uso de lodo de estação de tratamento de esgoto no desenvolvimento de espécimes vegetais utilizadas para a recuperação de áreas degradadas

Use of sewage treatment station sludge on the development of plant specimens used for the recovery of degraded areas

- **Data de entrada:**
21/02/2019
- **Data de aprovação:**
04/10/2019

Nilson André Toneti¹ (in memoriam) | Eudes José Arantes^{1*} | Marcelo Galeazzi Caxambu¹ | Jayson Pereira Godinho² |

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.085>

ORCID ID
Arantes EJ  <https://orcid.org/0000-0002-7684-3069>

Caxambu MG  <https://orcid.org/0000-0001-6898-2280>
Godinho JP  <https://orcid.org/0000-0003-2948-8639>

Resumo

Com o aumento dos domicílios atendidos com esgotamento sanitário no Brasil nos últimos anos, houve também o aumento da geração de lodo nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), que em muitas cidades acaba sendo disposto em aterros sanitários. O objetivo do presente trabalho foi propor alternativas para a resolução de dois passivos ambientais da sociedade: 1 - a reabilitação de "lixões", com plantio de vegetação arbórea nativa da região; e 2 - a destinação adequada do lodo proveniente das ETEs. Para atingir esse objetivo foi realizada a disposição de lodo de uma ETE em um "lixão" abandonado e avaliado o desenvolvimento e a morte dos espécimes vegetais plantados para a recuperação da área. Pode-se concluir que a recuperação da vegetação em "lixões", com a utilização de lodo de esgoto doméstico, pode se tornar um instrumento alternativo e viável para a destinação adequada desses resíduos, que por sua origem e características químicas e ambientais possuem destinação restrita e problemática.

Palavras-chave: Saneamento básico. Biossólido. Resíduo urbano.

Abstract

With the increase in households served with sanitary sewage in Brazil in recent years, there has also been an increase in the generation of sludge at Sewage Treatment Plants (STP), which in many cities ends up being disposed of in landfills. The objective of the present work was to propose alternatives for the resolution of two environmental liabilities of the society: 1 - rehabilitation of "dumps", with planting of arboreal vegetation of the region and 2 - adequate disposal of the sludge from the STP. In order to achieve this objective, the disposal of sludge from an STP was carried out on an abandoned "dump" and the development and death of plant specimens planted for the recovery of the area were evaluated. We can conclude that the recovery of the vegetation in "dumps", with the use of domestic sewage sludge, can become an alternative and viable instrument for the proper destination of this waste, which due to its origin and chemical and environmental characteristics has a restricted destination and problematic.

Keywords: Basic sanitation. Sewage sludge. Municipal waste.

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campo Mourão - Paraná - Brasil.

² Universidade Federal do Paraná (UFPR) - Curitiba - Paraná - Brasil.

* **Autor correspondente:** eudesarantes@utfpr.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

Os depósitos de resíduos domésticos, chamados comumente de “lixões” ao serem desativados, sem a aplicação de normas técnicas de saneamento e com a adequada cobertura de superfície com solo, continuam com os resíduos expostos a céu aberto, permanecendo em profundo estado de abandono e degradação ambiental. A Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei nº. 12.305/2010 tem como meta a eliminação e recuperação de lixões. Essas áreas, altamente antropizadas e simplesmente abandonadas sem a adoção de técnicas apropriadas, favorecem o surgimento de gramíneas e plantas exóticas indesejáveis, que por competição ou outros fatores, dificultam o aparecimento natural de espécies arbustivas e arbóreas que iniciariam o processo de regeneração espontânea da área degradada (OLIVEIRA et al., 2000; MARTINS et al., 2015).

A consciência ecológica, associada à legislação ambiental, leva ao interesse ou à obrigatoriedade de recuperação de áreas degradadas. Nesse sentido, a Política Nacional do Meio Ambiente impõe ao poluidor a obrigação de recuperar os danos causados ao meio ambiente (Lei 6.938/81), reforçada pelo art. 23 inciso II da Lei 9.605/98 (Lei dos Crimes Ambientais), que obriga o infrator a reabilitar a área degradada – princípio do poluidor-pagador.

O antigo lixão de Campo Mourão-PR, que recebeu todos os resíduos domésticos da cidade até janeiro de 2002, foi desativado sem se observar todas as normas adequadas para sua reabilitação na época. Recebeu cobertura de solo desigual e permaneceu com resíduos expostos em muitos trechos, resultando na invasão de espécies exóticas de plantas e gramíneas limitantes ao povoamento com cobertura vegetal arbórea nativa da região.

Tendo em vista essa situação, foi iniciada a recuperação do lixão de Campo Mourão-PR, por

meio da utilização do lodo proveniente do tratamento de esgoto doméstico coletado na cidade, como agregado orgânico na introdução das espécies vegetais.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) - NBR 10004, são classificados como resíduos sólidos os resíduos nos estados sólidos e semissólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviço e de varrição. Ficam incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de esgoto.

Segundo a Norma para utilização de lodo de Estação de Tratamento de Esgoto, editada pelo Instituto Ambiental do Paraná-IAP 2003, o lodo é o subproduto que gera maior volume durante os processos de tratamento de efluentes e aquele que apresenta disposição final problemática e frequentemente negligenciada, comprometendo parcialmente os efeitos benéficos da coleta e tratamento de esgotos (ANDREOLI et al., 2001; TSUTIYA et al., 2002; MARTINS et al., 2015).

A reciclagem de lodos das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's), visando à valorização de solos, representa uma alternativa técnica, econômica e ambientalmente segura. O material orgânico presente nesses resíduos aumenta a resistência dos solos à erosão, além de ser excelente fonte de nutrientes, principalmente de nitrogênio e fósforo, constituindo-se em alternativas para regiões agrícolas, especialmente aquelas caracterizadas pelo uso intensivo do solo ou onde há a proposição de técnicas de reflorestamento (GOMES et al., 2001, ANDREOLI et al., 2014).

Com a utilização do lodo de esgoto como biosólido, agregam-se nutrientes ao solo e, consequentemente, auxiliam a fixação inicial do sistema radicular das espécies introduzidas, visto que o solo nos talhões do experimento é muito

heterogêneo e com cobertura desigual, deixando em muitas porções os resíduos aflorando na superfície (SAMPAIO et al., 2012).

O lodo em muitas estações de tratamento de esgoto é considerado um resíduo problemático devido a sua difícil disposição final, pois pode estar carregado com metais pesados (dependendo da fonte do esgoto e industrialização da região) e possui grande carga biológica de patogênicos (SAMPAIO et al., 2012; PEDROSA et al., 2017; MOREIRA et al., 2019).

A reabilitação de lixões utilizando lodo de estações de tratamento de esgotos doméstico poderá dar destino nobre a esse tipo de resíduo, visto que essas áreas possuem alto grau de contaminação e degradação e com a reabilitação. Essas áreas deverão ainda permanecer sem nenhuma forma de exploração comercial ou de utilização social direta, devendo ficar isoladas ao acesso de pessoas e animais domésticos por vários anos (ANDREOLI et al., 2014; MARTINS et al., 2015).

Neste trabalho de pesquisa buscaram-se alternativas para ajudar a resolver dois passivos ambientais da sociedade: a reabilitação de lixões e aterros sanitários com plantio de vegetação arbórea nativa da região e a destinação adequada do lodo proveniente de estações de tratamento de esgotos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

A área onde foi instalado o experimento encontra-se no município de Campo Mourão, nas imediações da denominada Vila Guarujá, uma comunidade onde, no passado, abrigavam-se as pessoas que sobreviviam da garimpagem dos resíduos que ali era depositado.

O município de Campo Mourão possui uma população de 87.194 habitantes, sendo 82.757 na

área urbana e 4.437 na área rural (IBGE, 2010). O município encontra-se à altitude média de 630 m acima do nível do mar, possuindo uma área de 768,2 km². A região caracteriza-se por ter sua formação topográfica levemente ondulada (SIMIONATO, 1999). A área está localizada no Terceiro Planalto paranaense, com solos desenvolvidos a partir do basalto do Grupo São Bento. Ao todo foram estabelecidas 28 unidades de mapeamento, distribuídas pelas seguintes classes de solos: Latossolo Vermelho, Nitossolo Vermelho, Argilossolo Vermelho-Amarelo, Gleissolo Háptico, Cambissolos Háptico e Neossolo Litólico e Regolítico. O solo predominante é o Latossolo Vermelho – com moderada textura argilosa, ocorrendo a fase cerrado e cerrado subtropical, com relevo suave ondulado e praticamente plano (BOGNOLA et al. 2002; EMBRAPA, 2006; EMBRAPA, 2007).

Considerando os trabalhos de Bognola et al. (2002) e Roderjan et al. (2002), a região de Campo Mourão possuía, originalmente, o encontro de três tipos de vegetação: a Floresta Ombrófila Mista, onde se contempla a coexistência de representantes das floras tropical (afro-brasileira) e temperada (austro-brasileira), em marcada relevância fisionômica de elementos Coniferales e Laurales, onde domina a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae); Floresta Estacional Semidecidual, que apresenta como principal característica em suas formações florestais a semidecidualidade, na estação desfavorável, estando restrito aos estratos superiores e tendo aparentemente correlação principalmente com os parâmetros climáticos; Cerrado de origem semelhante às estepes ocorrendo predominantemente sobre Latossolos, apresentando fisionomia e florística semelhantes àquelas dos planaltos do Brasil central.

O clima do Município de Campo Mourão é classificado conforme Köppen como Cfa: Clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quen-

tes e geadas pouco frequentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida e umidade relativa do ar média anual de 75% (SPVS, 1996).

Os dados de precipitação e de temperatura foram obtidos na Estação Nacional de Meteorologia, que se localiza a aproximadamente 1000 metros de distância do experimento. No período do estudo ocorreram precipitações totais acumuladas de 1557,4 mm, sendo que a precipitação mensal variou entre 54,4 e 187,4. A temperatura máxima, de 36,4° C foi constatada no dia 12 de novembro de 2003, e a mínima, de 0,6° C, foi constatada nos dias 1° e 10 de agosto de 2004; no entanto, não foram constatados danos às vegetações por incidência de geadas.

2.2 Caracterização do solo dos talhões do projeto

Os talhões encontram-se na área do antigo lixão, caracterizada por solo Latossolo Vermelho antropizado pelo descarte de resíduos sólidos. A área do projeto foi dividida em oito talhões de 15 m x 120 m e, dentro destes, foram coletados solos em cinco pontos aleatórios para a realização das

análises físico-químicas, buscando identificar a qualidade dos principais nutrientes presentes no solo contaminado do antigo lixão.

2.3 Caracterização do lodo da ETE

O lodo de esgoto utilizado no experimento foi recebido da Companhia de Saneamento do Paraná SANEPAR, de sua Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Rio Km 119, estando estocado em suas dependências há mais de seis meses, apresentando-se bem estável, não oferecendo risco de decompor-se pela fermentação, que poderia prejudicar o desenvolvimento inicial das plantas. Os testes preliminares foram realizados com amostras do lodo coletadas e submetidas a experimento utilizando mudas da espécie *Verbenaceae Duranta* sp. (pingo de ouro). O teste constituiu em submeter as mudas (Fig. 1) a três condições distintas: encharcamento (A); solo úmido (B) e solo bem drenado (C), por um período de oito dias, em frascos contendo cinquenta por cento de solo e cinquenta por cento de lodo, onde verificou-se empiricamente que não ocorreram danos às plantas submetidas ao tratamento.

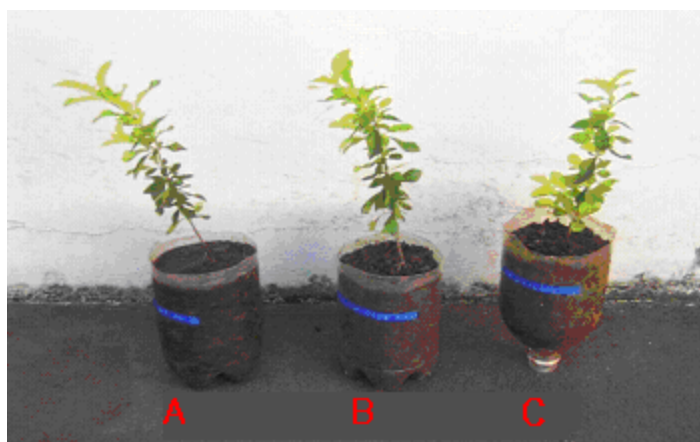


Figura 1 – Amostras de teste do lodo a ser utilizado no tratamento das parcelas do projeto de recuperação do lixão de Campo Mourão-PR. Três condições distintas: encharcamento (A); solo úmido (B) e solo bem drenado (C).

2.4 Análises físico-químicas e biológicas

As análises dos nutrientes, tanto dos oito talhões do solo do antigo lixão como da amostra de lodo da ETE, foram realizadas no Laboratório Santa Rita, que fica localizado na cidade de Mamborê - PR.

As análises de metais pesados foram realizadas no Laboratório Lakefield Geosol - Laboratório de Análises Minerais e Ambientais, localizado em Belo Horizonte - MG. Essas análises ocorreram da seguinte forma: duas amostras foram secas em estufa por 1 hora a 60 °C, finamente moídas em um moinho tipo Willey e coletado para a análise apenas o passante na peneira de 140 *mesh* (abertura = 0,105 mm). O elemento Hg foi determinado por meio da técnica de espectrometria de absorção atômica (AAS) por geração de vapor frio; os elementos As e Se foram determinados por meio da técnica AAS por geração de hidretos, e os demais elementos foram determinados por meio de análise multielementar de digestão multiácida e posterior leitura por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES).

As análises parasitológicas de helmintos presentes no lodo da ETE foram realizadas no laboratório de parasitologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR), centro politécnico, setor de ciências biológicas, departamento de patologia básica na cidade de Curitiba - PR. Essas análises foram realizadas por diluição, centrifugação e contagem em Câmara de Sedwick e Ratter e da viabilidade após incubação a 28°C por quatro semanas, conforme descrito por Yanko modificado por Thomaz-Soccol (2000), de forma semelhante ao realizado por Andreoli; Ferreira; Prevedello (2002) e por Barés et al. (2011).

2.5 Limpeza da área de estudo

Logo após a coleta das amostras de solo dos talhões, para a caracterização físico-químicas, os indivíduos de *Ricinus communis* L. (mamonas)

receberam corte raso por meio de roçada com foice. As gramíneas e outras invasoras de porte baixo existentes no local foram controladas com aplicação de herbicida à base de Glifosato (N-(fosfonometil)glicina), diluído a 2% (cinco litros de produto para 250 L de calda), que foi aplicado com pulverizador de barras acoplado a um trator, buscando-se eliminar a infestação de invasoras que impediam o desenvolvimento inicial das plantas introduzidas nos talhões dos experimentos, e favorecer os trabalhos de demarcação de parcelas, coveamento e introdução das espécies.

Logo após a aplicação de herbicida, houve a queima clandestina da área, atrapalhando a ação do herbicida aplicado, favorecendo o aparecimento rápido de gramíneas e outras ervas indesejáveis. Desde modo tornou-se necessária uma segunda aplicação, sendo utilizado o mesmo tipo de herbicida, com o mesmo modelo de equipamento e na mesma diluição na calda.

2.6 Aplicação do lodo da ETE

A aplicação do lodo foi realizada diretamente nas covas em quantidades variadas, de forma que cada talhão ficou com área sem lodo, uma com cinco litros, uma com 10 litros e outra com 20 litros sucessivamente e, inversamente em cada talhão paralelo. O experimento foi repetido em seis talhões (talhões 01 ao 06), totalizando as 24 parcelas com experimento objetivando distribuir de forma diferenciada os tratamentos em cada talhão. Os talhões 07 e 08 não receberam tratamento, funcionando como parcelas testemunhas na regeneração da área.

2.7 Combinação das espécies vegetais

A maioria dos programas de recuperação de áreas degradadas tem dado especial atenção ao uso de espécies nativas da região de trabalho na

reconstituição da cobertura vegetal. Não é raro também que haja uma orientação no sentido de uma preferência quase absoluta pelas mesmas, deixando o uso de espécies exóticas para situações mais particulares, como nas áreas muito críticas, ou quando se tem por objetivo empregar determinada cultura com fins lucrativos e/ou de estímulo ao proprietário da terra (OLIVEIRA FILHO, 1994; OLIVEIRA et al., 2000).

O uso de espécies nativas pode representar uma série de vantagens para um programa de recuperação ambiental. Ao adotar essa orientação, o programa contribui para a conservação da biodiversidade regional explorando, protegendo ou mesmo expandindo as fontes naturais de diversidade genética, não só das espécies vegetais em questão, mas também da fauna local a elas associada (OLIVEIRA FILHO, 1994; OLIVEIRA et al., 2000).

No projeto de recuperação foram combinadas espécies dos diferentes estágios de sucessão, sendo as secundárias sempre intercaladas por uma pioneira, procurando obter um plantio heterogêneo. Foram utilizadas espécies da região, como: *Mimosa flocculosa* Burkart (Bracatinga); *Ceiba speciosa* A. St. Hil. (Paineira), planta da Família Bombacaceae; *Schinus terebinthifolia* Raddi (Aroeira pimenteira), planta da Família Anacardiaceae; *Eugenia involucrata* DC. (Cerejeira), planta da Família Myrtaceae; *Anadenanthera colubrina* (Vell.), Brennan var. *cebil* (Griseb.), Altschul (angico vermelho), planta da Família Mimosaceae; *Cordia trichotoma* (Vell.), Arráb. ex Steud. (Louro-pardo), planta da Família Boraginaceae (LORENZI, 2016).

2.8 Demarcação das parcelas e coveamento

Preliminarmente foi elaborada uma planilha de disposição das mudas a serem introduzidas no campo, sendo utilizados números de 01 a 06 para identificar a localização de cada planta.

A área foi demarcada num quadrado de 120 m x 120 m, totalizando 14.400 m², e dividida em oito talhões. Seis talhões foram subdivididos em quatro quadrantes cada, totalizando 24 micro-talhões com cinco fileiras paralelas contendo 10 covas, totalizando 50 covas por quadrante, delineados de forma que cada linha dentro do talhão teria sequência diferente da outra, e com espaçamento delimitado de 3 m x 3 m (9 m²) entre plantas.

Dois talhões foram mantidos inteiros, sem coveamento e sem introdução das espécies, servindo como testemunha. O talhão sete, mantido como área testemunha, recebeu corte de vegetação e aplicação de herbicida como nos demais, e o talhão oito não recebeu corte de vegetação nem aplicação de herbicida, sendo mantido com a vegetação natural. As covas foram abertas com broca tipo rosca acoplada ao trator onde existiam porções de solo sem a presença de resíduos expostos. Onde houve presença de resíduos expostos ou pequena cobertura de solo, as covas foram abertas manualmente, com auxílio de enxada e cavadeira tipo “boca-de-lobo”, de forma que tanto as abertas com trator como as com ferramentas manuais ficaram com profundidade e largura média de 30 cm x 30 cm.

As covas foram marcadas com estacas de madeira (galhos finos de podas depositadas em área licenciada para receber entulhos no antigo lixão), diferenciadas pela numeração: 1 *Mimosa flocculosa* Burkart, 2 *Ceiba speciosa* A. St.Hil, 3 *Schinus terebinthifolia* Raddi, 4 *Eugenia involucrata* DC. (Cerejeira), 5 *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brennan var. *cebil* (Griseb.) Altschul, 6 *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud de forma que cada exemplar das espécies nativas diversas foram intercaladas sempre por um exemplar de *Mimosa flocculosa* (Bracatinga).

As demarcações do local de cada planta ficaram representadas por um esquema com os números correspondentes de 1 a 6 (Fig. 2).

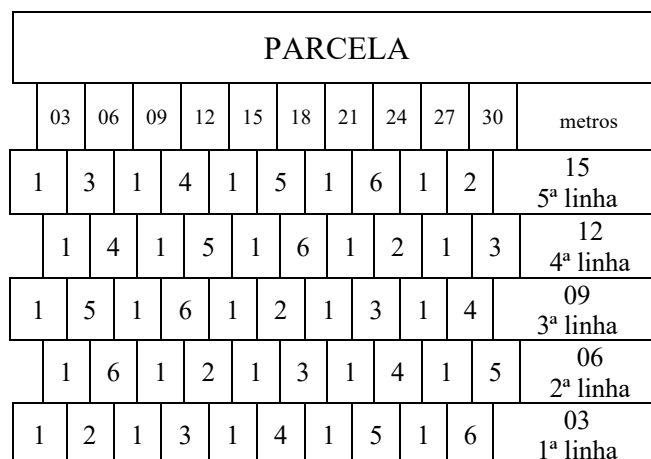


Figura 2 – Esquema de distribuição das espécies nas parcelas do projeto de reabilitação do lixão de Campo Mourão-PR.

Legenda: 1 – *Mimosa flocculosa* Burkart. (Bracatinaga); 2 – *Ceiba speciosa* A. St. Hil. (Paineira); 3 – *Schinus terebinthifolia* Raddi (Aroeira pimenteira); 4 – *Eugenia involucrata* DC. (Cerejeira); 5 – *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan var. *cebil* (Griseb.) Altschul (Anjico vermelho); 6 – *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud (Louro-pardo)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização físico-química dos talhões e do lodo de esgoto da ETE, do projeto de recuperação do antigo lixão de Campo Mourão-PR, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização físico-química dos talhões e do lodo de esgoto do projeto de recuperação de área no antigo lixão de Campo Mourão-PR.

Amostra	Teor de nutrientes																Relações		
	mg.dm ⁻³	g.dm ⁻³	Cmolc.dm ⁻³									%				Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	
	P	C	pH	Al	H + Al	Ca + Mg	Ca	Mg	K	Soma Bases	C.T.C	Saturação por bases	Saturação por alumínio	Saturação por cálcio	Saturação por magnésio	Saturação por potássio			
TALHÃO 01	11,23	13,32	6,29	0	2,11	6,48	5,56	0,92	0,66	7,14	9,25	77,19	0	60,11	9,95	7,14	6,04	8,42	1,39
TALHÃO 02	18,45	22,56	7,38	0	1,82	8,36	6,96	1,4	1,34	9,7	11,52	84,2	0	60,42	12,15	11,65	4,97	5,19	1,047
TALHÃO 03	67,49	34,79	7,46	0	1,82	10,24	7,98	2,26	1,23	11,47	13,29	86,31	0	60,05	17,01	9,27	3,53	6,48	1,83
TALHÃO 04	1,9	12,08	6,5	0	2,54	3,89	2,88	1,01	0,66	4,55	7,09	64,17	0	40,62	14,25	9,31	2,85	4,36	1,53
TALHÃO 05	30,93	28,32	7,44	0	1,82	9,58	7,65	1,93	0,88	10,46	12,28	85,18	0	62,3	15,72	7,17	3,96	8,69	2,19
TALHÃO 06	27,9	22,64	7,16	0	2,11	8,31	6,73	1,58	1,28	9,59	11,7	81,97	0	57,52	13,5	10,91	4,26	5,27	1,24
TALHÃO 07	8,34	17,22	6,86	0	2,36	7,22	5,56	1,66	0,84	8,06	10,42	77,35	0	53,36	15,93	8,02	3,35	6,65	1,99
TALHÃO 08	2,3	16,21	6,77	0	2,36	6,88	4,82	2,06	0,84	7,72	10,08	76,59	0	47,82	20,44	8,29	2,34	5,77	2,46
LODO SANEPAR	105	38,96	3,6	3,9	22,83	16,28	13,59	2,69	0,31	16,59	39,42	42,09	19,03	34,47	6,82	0,78	5,05	44,12	8,73

Métodos de Análise: (H⁺+Al³⁺): SMP; C: Walkley black; (Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺): KCL 1M; (B); (Cu, Fe, Mn, Zn): Água Quente; Mehlich 1; (P, K⁺): Mehlich – 1; (S-SO₄²⁻): Fosfato Monocalcico – 500 mg de P/1.

É possível observar na Tabela 1 que o elemento fósforo (P) apresentou valores altos, exceto nos talhões 4 e 8; o elemento carbono (C) mostrou valores variáveis, indicando heterogeneidade entre os talhões, devido à decomposição dos resíduos e à ausência de solo, comum numa área de lixão.

O elemento potássio (K) apresentou valores altos, se comparados a solos, sendo favorável ao desenvolvimento de plantas; os elementos cálcio (Ca) e magnésio (Mg) apresentaram concentrações adequadas; a capacidade de troca de cátions, que indica a capacidade do solo de reter nutrientes mantendo sua disponibilidade para as plantas ao longo do tempo, indicou boas condições; o pH esteve próximo da neutralidade em todos os talhões, estando numa faixa adequada para o desenvolvimento de todas as culturas e para a manutenção de uma atividade biológica equilibrada na decomposição de nutrientes; o alumínio (Al), um elemento tóxico para as plan-

tas, sendo um fator limitante para o desenvolvimento e expansão radicular das plantas, não foi identificado em nenhum dos talhões, o que é esperado nessa faixa de pH.

Em relação à caracterização físico-química das amostras do lodo de esgoto da ETE (Tabela 1), os índices de fósforo (P) e carbono (C) mostraram-se elevados, porém o pH mostrou-se ácido e foi necessária calagem, realizada com calcário na proporção de 2,5 kg.m⁻³ de lodo, que foi espalhado no monte e misturado com o trator pá-carregadeira, antes de carregar o caminhão para transporte até o local do experimento, e remexido novamente com enxada antes da adição nas covas.

Na Tabela 2 são apresentadas as concentrações dos metais do lodo da ETE e na Tabela 3 é possível observar a relação entre essas concentrações experimentais com os níveis de alerta e níveis máximos de metais admissíveis pela Resolução SEMA 01, de 11 de janeiro de 2007.

Tabela 2 – Concentração dos metais encontrados em análises do lodo de esgoto da ETE Rio Km 119 - Campo Mourão-PR.

Hg	As	Se	Ag	Al	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co
Ppb	ppm	ppm	Ppm	%	ppm	Ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppM
2721	8	< 1	23	4,7	28	177	< 3	< 20	0,65	< 3	19
Cr	Cu	Fe	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P
ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	%	Ppm	%
59	269	6,7	0,07	30	15	0,19	0,03	4,4	0,02	27	0,48
Pb	Sb	Sc	Sn	Sr	Ti	V	W	Y	Zn	Zr	
ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	%	Ppm	ppm	Ppm	ppm	ppm	
358	< 10	< 3	< 20	57	0,25	195	< 20	8,8	833	22	

Tabela 3 – Relação entre os níveis de metais pesados encontrados no lodo da ETE Rio Km 119 Campo Mourão-PR, com os níveis de alerta e níveis máximos admissíveis pela Resolução SEMA 01, de 11 de janeiro de 2007.

Elementos químicos		Níveis encontrados	Níveis Parâmetros	
Nomenclatura	Elementos	Níveis encontrados na ETE Rio 119 (mg.kg ⁻¹ M. S. de lodo)	Níveis de Alerta (mg.kg ⁻¹ M. S. de lodo)	Níveis máximos Admissíveis (mg.kg ⁻¹ M. S. de lodo)
Cádmio	Cd	< 3	16	20
Chumbo	Pb	358	600	750
Cobre	Cu	269	800	1000
Crômio	Cr	59	800	1000
Mercúrio	Hg	2,72	13	16
Níquel	Ni	27	240	300
Zinco	Zn	833	2000	2500

FONTE: Níveis de Alerta e Níveis Máximos Admissíveis – Norma Para Utilização Agrícola de Lodo de ETE – IAP. M. S. = Matéria Seca.

Comparando as concentrações dos principais metais encontrados no lodo da ETE (Tabela 2) com os níveis de alerta dos elementos traço da Resolução SEMA 01, de 11 de janeiro de 2007, que dispõe sobre a utilização agrícola de lodo de ETE (Tabela 3), pode-se perceber que os elementos Cd, Cr, Hg e Ni, ficaram com níveis quatro vezes inferiores ao nível de alerta. Os elementos Cu e Zn ficaram com níveis abaixo da metade dos de alerta e apenas o elemento Pb ultrapassou um pouco a metade, chegando próximo a 60 % (sessenta por cento) do valor do nível de alerta. Dessa forma, o lodo da ETE, com base na Resolução SEMA 01, teve o seu uso agrícola permitido, sem restrições, pois a concentração de metais ficou bem abaixo dos níveis tidos como alerta.

Vale lembrar que, de modo geral, os metais pesados são encontrados naturalmente no solo em concentrações variáveis, porém, via de regra, inferiores aos limites considerados tóxicos para diferentes organismos vivos. Dentre eles As, Co, Cr, Cu, Se e Zn são essenciais aos organismos vivos em certas quantidades, enquanto outros não desempenham qualquer função no metabolismo, sendo tóxicos às plantas e animais (CAMPOS et al., 2003; MINEROPAR, 2005).

Na Tabela 4 é apresentada a contagem parasitológica de helmintos presentes no lodo da ETE, e na Tabela 5 é mostrada a relação entre essa quantidade experimental encontrada, com o nível máximo de ovos de helmintos admissíveis pela Resolução SEMA 01, de 11 de janeiro de 2007.

Tabela 4 – Contagem parasitológica de helmintos presentes no lodo de esgoto da ETE Rio Km 119, Campo Mourão-PR.

HELMINTO	PARASITOLÓGICO HELMINTOS		TOTAL
	MÉDIA		
	Ovos viáveis	Ovos inviáveis	
<i>Ascaris sp.</i>	1,79	9,90	11,69
<i>Toxocara sp.</i>	0,10	0,20	0,30
<i>Trichuris trichiura</i>	0,15	1,02	1,17
<i>Trichuris vulpis</i>	0,10	0,24	0,34
<i>Trichuroidea</i>	0,04	0,22	0,26
<i>Hymenolepis diminuta</i>	0,06	0,08	0,14
TOTAL GERAL	2,24**	11,66	13,90*

(*) - Número total de ovos de helmintos por grama de matéria seca

(**) - Número de ovos viáveis por grama de matéria seca

O número de ovos de helmintos viáveis (Tabela 4) ficou muito elevado, sendo oito vezes o limite máximo permissível pela Resolução SEMA 01, de 11 de janeiro de 2007 (Tabela 5). Vale, no entanto, lembrar que as amostras das análises foram coletadas antes de realizar a correção de pH do lodo que estava ácido, o que poderia possibilitar uma diminuição no número de ovos viáveis. Segundo ANDREOLI et al. (2001), o pH,

ou a concentração hidrogeniônica, define a acidez ou a alcalinidade tanto do solo como do lodo e também se constitui em um eficaz agente de desinfecção.

Na Tabela 5 é apresentado o número de mudas plantadas, mudas sobreviventes e a mortalidade e percentagem de mortalidade por espécie no antigo lixão de Campo Mourão-PR.

Tabela 5 – Número de mudas plantadas; mudas sobreviventes; mortalidade e percentagem de mortalidade por espécie no antigo lixão de Campo Mourão-PR.

Espécies	Mudas Plantadas	Mudas Sobreviventes	Mortalidade	Mortalidade %
<i>C. trichotoma</i>	118	50	68	57,63
<i>M. flocculosa</i>	579	258	321	55,44
<i>E. involucrata</i>	119	54	65	54,62
<i>A. colubrina</i>	118	74	44	37,29
<i>C. speciosa</i>	116	79	37	31,90
<i>S. terebinthifolia</i>	118	107	11	9,32

De acordo com a Tabela 5, constatou-se que foram variados os índices de mortalidade das plantas, entre as seis espécies utilizadas no experimento. Observa-se também que houve disparidade de mortes entre plantas de uma mesma espécie, se comparados os diversos talhões, possivelmente por apresentarem diferenças quanto a cobertura de solo, condições de drenagem e tratamento recebido com lodo de esgoto.

Estas disparidades de mortes das plantas podem ser atribuídas aos afloramentos de resíduos (Fig. 3), em diversos pontos dos talhões, frutos de uma cobertura desigual (na época de funcionamento do lixão) e insuficiente para favorecer o aparecimento de espécies vegetais nativas que necessitam de solo para um suporte radicular mais desenvolvido. Tal fato, impermeabiliza o solo, criando porções alagadas nos dias em que ocorre

grande volume de precipitação e perda rápida da umidade da pequena camada de solo misturada aos detritos nos dias de estiagem, o que propicia a colonização por espécies exóticas invasoras.

Costa et al. (2012) estudaram uma área aterrada na região urbana de Campo Mourão-PR que por muitos anos também foi local de depósito de resíduos domésticos e de construção civil. Os autores também notaram a facilidade da ocupação da área pelas vegetações exóticas e invasoras. O terreno do local era mais propício a saturação e consequente alagamento do que os solos de terrenos vizinhos, que não tinham resíduos aterrados. Ainda segundo os autores, um dos grandes problemas da área eram as ocorrências de fortes erosões ocasionadas por esses alagamentos constantes.



Figura 3 – Aspecto de uma cova aberta na parcela 2-A, evidenciando os resíduos expostos por ocasião de sua cobertura no antigo depósito de resíduos da Vila Guarujá em Campo Mourão-PR.

Verificou-se que a maior percentagem de mortes ocorreu nos talhões com cobertura de solo inferior a 40 cm de profundidade. Nos talhões que apresentam cobertura com solo igual ou superior a 50 cm, as plantas encontraram situação

favorável a seu desenvolvimento. Sendo que, à medida que a cobertura com solo se torna mais espessa, existe tendência à estabilização e nas porções com profundidade superiores a 80 cm os valores tendem a aproximar-se de zero (Fig. 4).

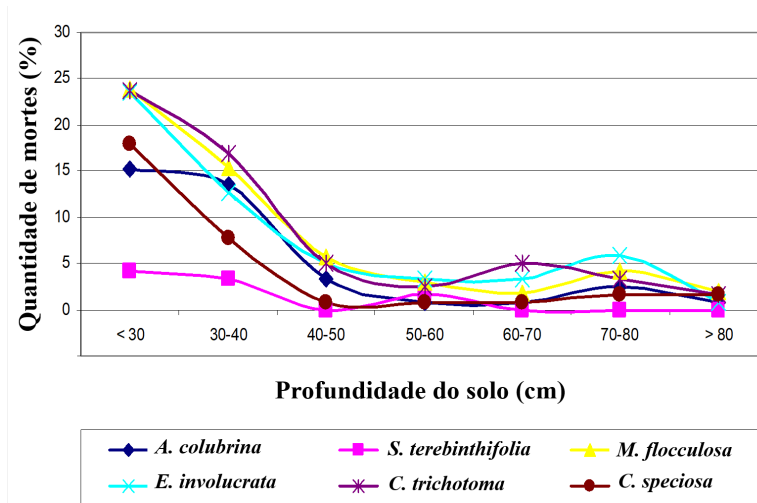


Figura 4 – Percentagem da mortalidade de plantas introduzidas no antigo lixão de Campo Mourão-PR em relação à profundidade do solo.

Verificou-se que a cobertura nos talhões é muito heterogênea e que naqueles com profundidade de solo de até 35 cm, em muitas porções, os resíduos estão aflorando (Fig. 3) e o lodo de esgoto utilizado, conforme verificado no campo, no momento do plantio das mudas das plantas, serviu como suporte inicial para a fixação das raízes dos

vegetais introduzidos; no entanto, não foi suficiente para sustentar as plantas durante as fases do experimento, pois, para todas as plantas, com exceção de *C. speciosa* (Fig. 5), houve aumento do índice de mortalidade dos talhões não tratados para os tratados com 5 litros de lodo.

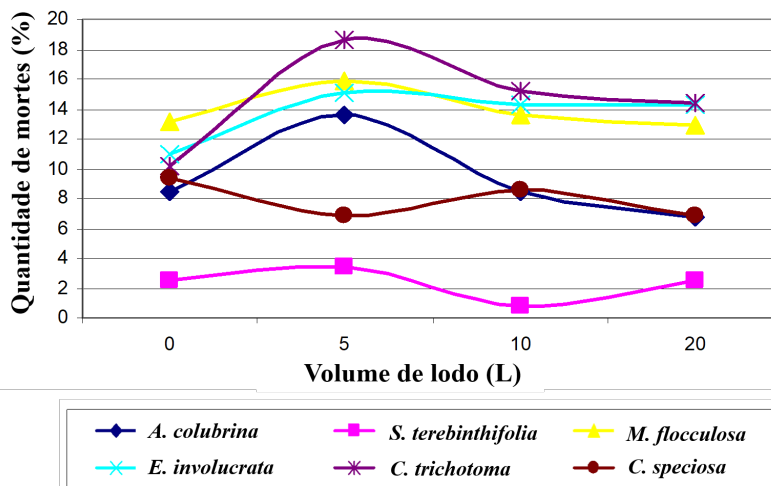


Figura 5 – Quantidade de lodo em relação ao percentual de morte de plantas.

Também é possível observar na Fig. 5 que, para todas as espécies, exceto para *C. speciosa*, os índices de mortalidade nos talhões tratados com 10 litros foram menores que os tratados com cinco litros de lodo. E para todas as plantas, exceto *S. terebinthifolia*, o índice de mortalidade de plantas para os talhões tratados com 20 litros de lodo foi menor do que os talhões tratados com 10 litros. Nota-se então que nos talhões que receberam tratamento

com 5 litros de lodo o resultado foi insignificante, chegando a ser negativo. No entanto, com tratamento a partir de 10 litros, houve sensível diminuição da mortalidade, indicando que, quanto maior o volume de lodo usado, melhor foi o desempenho das espécies nos experimentos.

Na Fig. 6 é apresentada a percentagem de plantas mortas em cada período.

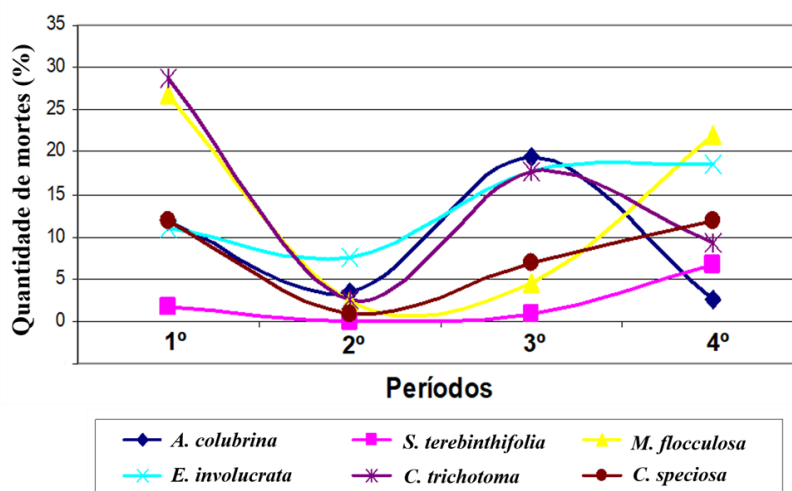


Figura 6 – Percentagem de plantas mortas em cada período.

De acordo com a Fig. 6, verificou-se que as mortes das plantas introduzidas no experimento estão relacionadas também com o volume de precipitações ocorridas e a quantidade de dias com ausência de precipitação em cada período analisado, ocorrendo alagamento em diversas porções na área do projeto, principalmente em áreas com deficiência na cobertura, deixando o sistema radicular das plantas sob a influência

desse alagamento por vários dias consecutivos sob o efeito do encharcamento no sistema radicular, o que pode ter causado o elevado percentual inicial de mortes.

Na Fig. 7 é apresentada a precipitação acumulada mensal durante os períodos analisados no projeto de recuperação do lixão de Campo Mourão-PR.

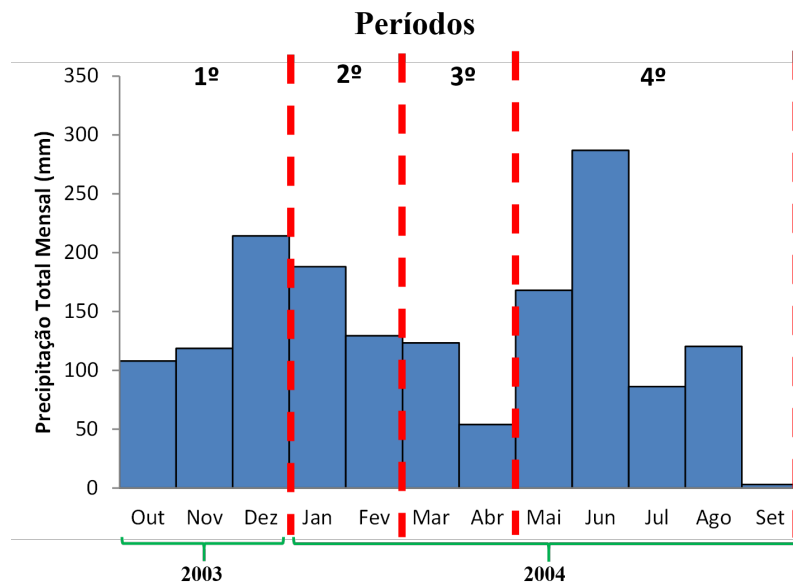


Figura 7 – Precipitação acumulada mensal durante os períodos analisados no projeto de recuperação do lixão de Campo Mourão-PR.

Fonte: Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR).

No 1º período houve precipitações médias diárias de 4 mm e 13 dias consecutivos sem nenhuma precipitação. No 2º período ocorreram precipitações médias diárias de 4,6 mm e 18 dias consecutivos de estiagem. No 3º período houve precipitações médias diárias de 3,4 mm, ficando 27 dias consecutivos sem precipitação e somando um período de 55 dias. No 4º período ocorreram os extremos de precipitação, com 287 mm em junho e apenas 3,3 mm em setembro, o que pode ter favorecido o elevado percentual de mortes.

Schinus terebinthifolia, segundo o Manual para Recuperação da Reserva Florestal Legal (SPVS, 1996), é uma planta que ocorre em todo o estado do Paraná em diferentes situações de solo, sendo uma planta pioneira e pouco exigente. Foi a que melhor se adaptou às condições encontradas na área de experimento, sendo baixíssimo o índice de mortalidade encontrada para essa espécie. Sendo citada também por Mack et al. (2000) como uma espécie altamente invasora e indesejável sobre pântanos no Estado da Flórida-EUA, alterando radicalmente o ecossistema natural deste habitat, que é composto por grupos

de bosques sobre pântanos, e causando efeitos devastadores na biota nativa.

Cordia trichotoma é uma espécie pioneira que suporta meia sombra até a fase jovem e ocorre em todo o estado do Paraná, tanto na vegetação primária como na secundária. Essa espécie apresentou o maior número de mortes logo após o plantio. Observou-se, no entanto, que as mudas de *C. trichotoma* e *C. speciosa* estavam com porte grande e com atrofiamentos de raízes nas embalagens que foram levadas a campo, o que aparentemente causou o elevado número inicial de mortes dessas espécies, mesclando os resultados obtidos e confirmando os estudos de JESUS et al. (1987), que afirmaram que o tamanho do recipiente deve permitir o desenvolvimento do sistema radicular sem restrições significativas durante a permanência da planta no viveiro.

M. flocculosa teve sua mortalidade, concentrada no primeiro período, com 26,77%, e no quarto período, com 21,93 % de mortes. As mudas de *M. flocculosa* foram levadas a campo com cerca de 12 cm de altura. Considerando que no primeiro

período houve grande concentração de precipitação, ocorrendo alagamentos em diversos talhões, pode-se afirmar que as grandes perdas dessas mudas, no período inicial, ocorreram devido ao sufocamento hídrico, pois mesmo essa planta sendo encontrada em ambiente úmidos, e sujeitos a encharcamento (CARVALHO, 2003), os períodos iniciais de adaptação da planta são os mais críticos para a ocorrência de mortes, ou pelo excesso de água ou pela falta. No quarto período houve longa estiagem com apenas 3,3 mm de precipitação, para o mês de setembro de 2004, e isso também é uma possível causa da acentuada percentagem de mortes.

Das espécies implantadas na área de recuperação do lixão, *Mimosa. flocculosa* e *Schinus terebinthifolia* já frutificaram, porém não se constatou ainda o surgimento espontâneo de novas plantas dessas espécies na área do projeto.

4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o antigo lixão de Campo Mourão-PR apresenta uma degradação intensa, que dificulta a recuperação da área. Com a implementação de uma cobertura de solo homogênea e com espessura superior a 50 cm, é possível minimizar a mortandade das espécies vegetais introduzidas.

Ao longo do crescimento da vegetação plantada, a recuperação ambiental da área se torna possível e cada vez mais viável, pois as raízes das plantas passam a evitar erosões, encharcamento e formações de bolsões com águas empoçadas, permitindo, assim, boa drenagem natural, e evitando a perda rápida de umidade em períodos de estiagem e a perda de solo ocasionada pelas erosões.

De acordo com os parâmetros físico-químicos, a recuperação da vegetação em lixões e aterros controlados, com a utilização de lodo de esgoto doméstico, mostrou-se uma boa opção e uma alternativa viável para a destinação adequada

desse resíduo, pois o mesmo se enquadrava na legislação estadual nesse quesito.

Mesmo a quantidade de ovos de helmintos ficando acima da aceitável pela legislação, é possível que, após a aplicação de calcário, esse parâmetro ficasse dentro da quantidade recomendada, pois o calcário se constitui em um eficaz agente de desinfecção.

A planta que apresentou o menor percentual de mortandade, ao longo de todo o período analisado, foi a espécie *Schinus terebinthifolia*. Desta forma, conclui-se que ela é indicada para recuperação de ambientes degradados, sob as mais diversas condições do solo, desde que dentro de sua área de ocorrência natural.

De modo geral, o emprego dos lodos de ETEs, além de agregar valor nutricional ao solo, serve também como substrato para o crescimento inicial das plantas, que no início têm grande demanda por solos estruturados e de nutrientes.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

6 REFERÊNCIAS

- ANDREOLI, C. V.; FERREIRA, A. C.; CHERUBINI, C.; TELES, C. R.; CARNEIRO, C.; FERNANDES, F. Higienização do lodo de esgoto. p 87-116. In. ANDREOLI, C. V. **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, reciclagem e Disposição Final**. Ed. Rima, Rio de Janeiro, 257 p., 2001.
- ANDREOLI, C. V.; FERREIRA, A. C.; PREVEDELLO, B. M. S. Viabilidade de Ovos de Helmintos em Lodo de Esgoto Tratado Termicamente em Leitos de Secagem. **Sanare**, Curitiba, p. 102, 2002.
- ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Lodo de esgotos. Tratamento e disposição final**. vol.6, 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 444p., 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT.NBR 10004 - **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 48p., 1987.
- BARÉS, M. E.; BRAGA, M. C. B.; AISSE, M. M.; NOYOLA, A.; BRAGA, S. M. Avaliação e definição da melhor relação tempo versus temperatura para a remoção de ovos de helmintos e coliformes termotole-

- rantes em reator termohidrolisador. **Revista Científica (Faculdade Anchieta de Ensino Superior do Paraná)**, v. 7, p. 85-94, 2011.
- BOGNOLA, I.A., FASOLO, P.J., POTTER, R.O., CARVALHO, A.P. & BHERING, S.B. **Levantamento e reconhecimento dos solos da região central do Estado do Paraná (área 8)**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 156p, 2002.
- CAMPOS, M. L.; PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CURTI, N. Baseline concentration of heavy metals in Brazilian Latosols. **Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 34:547-557, 2003. <https://doi.org/10.1081/CSS-120017838>
- CARVALHO, P. E. R. de. **Árvores arbóreas brasileiras**. v. 1. EMBRAPA. Colombo, p. 387-393, 2003.
- COSTA, N. S. D.; GODINHO, J. P.; COSTA, J. O. Erosão hídrica em um afluente do rio km 119 na área urbana de Campo Mourão (PR). **Geoiingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, v. 4, p. 104-124, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Complementação e Atualização (SiBCS, 2006) do Mapeamento**. Ministério da Agricultura-MA. BRASIL, 2007.
- GOMES, L. P.; COELHO, O. W.; COSTA, A. N.; MARQUES, M. O. Critérios de Seleção de Área para Reciclagem Agrícola de Lodos de estações de Tratamento de esgoto. p 165-187. In: ANDREOLI, C. V. **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, reciclagem e Disposição Final**. Ed. Rima, Rio de Janeiro, 257 p., 2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE – **Censo demográfico 2010**. Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão-Brasil. Rio de Janeiro. p 325-331, 2010.
- JESUS, R. M. de.; BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. DO.; MENANDRO, M. S. Efeito do tamanho de recipiente, tipo de substrato e sombreamento de mudas de louro (*Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab.) e Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott). **Revista Scientia Forestalis**. Piracicaba, v.37. p. 13-20, 1987.
- LORENZI, H. J. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Ed. Instituto Plantarum vol. 01, 3ª Edição. Nova Odessa SP, 384 p., 2016.
- MACK, R. N.; SIMBERLOFF, D.; LONDALE, W. M.; EVANS, H.; CLOUT, M.; BAZZAZ, M. Invasiones biológicas: causa, epidemiología, consecuencias globales y control. Tópicos em ecología. In: **Ecological Society of América (la Sociedade Norteamericana de Ecologia)**. Número 5. Primavera, 22 p., 2000.
- MARTINS, B. H. S.; MARTINEZ, D. G.; PUIG, P.; AL BANDAR, H.; SCHMITZ, W. C. Uso de biossólido na agricultura. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.4, p. 64-72, 2015.
- MINERAIS DO PARANÁ S. A. – MINEROPAR. Geoquímica de solo – Horizonte B. In: **Levantamento Geoquímico Multielementar do Estado do Paraná**. Curitiba, PR, Mineropar, v.2, 407p., 2005.
- MOREIRA, S. de F.; SANTOS, S. D. de O.; SARDINHA, A. S.; PEREIRA JÚNIOR, A. O lodo de ETE como alternativa para a recuperação do solo em áreas degradadas. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 1564-1585 mai./jun. 2019. <https://doi.org/10.34115/basrv3n3-006>
- OLIVEIRA FILHO, A. T. de. Estudos ecológicos da vegetação como subsídios para programa de vegetação com espécies nativas: uma proposta metodológica. **Cerne**, v. 1, nº 1, Lavras-MG, p. 64-72., 1994.
- OLIVEIRA, D. M. F., DIAS, L. E., FRANCO, A. A., CAMPELLO, E. F. C. E FARIA, S. M. de. Estudo da contribuição da cobertura vegetal sobre a recuperação de solo degradado pela extração de bauxita em Porto Trombetas-PA. p 108 (CD-ROM). In: IV Simpósio de recuperação de áreas degradadas “silvicultura ambiental”. Blumenau – SC, Cruz das Almas: UFB, 273 p., 2000. **Anais...**
- PEDROSA, M. V. B.; LIMA, W. L.; AMARAL, A. A.; CARVALHO, A. H. O. Biossólido de lodo de esgoto na agricultura: desafios e perspectivas. **Revista Agrogeoambiental**, v. 9, p. 125-142, 2017. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v9n42017999>
- RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. **Ciência & Ambiente**, 24:78-118 p., 2002.
- SAMPAIO, T. F.; GUERRINI, I. A.; BACKES, C.; HELIODORO, J. C. A.; RONCHI, H. S.; TANGANELLI, K. M.; CARVALHO, N. C.; OLIVEIRA, F. C. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. vol.36, n.5, pp. 1637-1645, novembro, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500028>
- SIMIONATO, E.C. **Campo Mourão: sua gente...sua história**. Ed. Bacon 2ª edição. Campo Mourão. 228 p., 1999.
- SOCIEDADE DE PESQUISA EM VIDA SELVAGEM E EDUCAÇÃO AMBIENTAL - SPVS. **Manual para recuperação da reserva florestal legal**. Fundo Nacional do Meio Ambiente-FNMA. Maxigráfica, Curitiba. 84 p., 1996.
- THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. Metodologia de Análise Parasitológica em Lodo de esgoto e Esgoto. In: ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P. (Orgs.). **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto**. Curitiba: Sanepar; ProSab, 2000.
- TSUTUYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T. de; MELFI, A. J.; MELO, W. J. de; MARQUES, M. O. **Biossólidos na agricultura**. Companhia de Saneamento Básico de São Paulo–SABESP. Universidade de São Paulo–USP. 2ª ed. São Paulo-SP. 200. 468 p., 2002.