

II-334 - AVALIAÇÃO DA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR EXPLORAÇÃO DE CASCALHO LATERÍTICO POR MEIO DA INCORPORAÇÃO DE LODO DE ESGOTO. ESTUDO DE CASO NO DISTRITO FEDERAL

Francisco Cuba Teran⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Adjunto da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Elaine Cristina Brás de Freitas⁽²⁾

Engenheira Civil pelo Instituto Unificado de Ensino Superior Objetivo (IUESO), Especialista em Sistemas de Esgotos Sanitários pelo Instituto de Pós-Graduação e Graduação (IPOG), Engenheira de Projetos da Hollus Serviços Técnicos Especializados Ltda e Mestranda em Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade Federal de Goiás (UFG).

Guilherme de Oliveira Santos⁽³⁾

Engenheiro Civil pelo Instituto Unificado de Ensino Superior Objetivo (IUESO). Especialista em Projetos e Execução de Estruturas e Fundações pelo Instituto de Pós-Graduação e Graduação (IPOG). Engenheiro de Projetos da Hollus Serviços Técnicos Especializados Ltda.

José Antônio Soares⁽⁴⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Católica de Brasília (UCB). Engenheiro de Segurança do Trabalho pela Faculdade de Tecnologia – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (FATEC). Engenheiro Ambiental da Hollus Serviços Técnicos Especializados Ltda.

Wellington Teixeira Soares Júnior⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC/GO). Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Pós-Graduando em Gerenciamento de Projetos pela Universidade de São Paulo (USP). Gerente de P&D da Hollus Serviços Técnicos Especializados Ltda.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Universitária, 1488 - Setor Leste Universitário - Goiânia – GO – CEP: 74605-220 - Brasil - Tel: (62) 3209-6541 - e-mail: paco.ufg@gmail.com

RESUMO

Visando diminuir os efeitos ao meio ambiente, especificamente à uma área de cascalheira na região do Distrito Federal, este trabalho visou avaliar a recuperação do solo de uma área degradada por exploração de cascalho laterítico com superfície aproximada de 10 hectares por meio da incorporação de lodo de esgoto proveniente das ETEs Norte, Sul e Melchior do Distrito Federal. Foi aplicado na área degradada o lodo das Estações de Tratamento nas mesmas condições em que são retirados das centrífugas das ETEs. Foram aplicados 6044 m³ de lodo de esgoto na área, o que corresponde à uma taxa de aplicação de 636 m³/ha. A incorporação do lodo promoveu o aumento da concentração de fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), alumínio (Al), enxofre (S), matéria orgânica (MO). Houve um significativo aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), aumentando mais de 4 vezes o valor em relação ao valor antes da aplicação do lodo de esgoto e aumento na saturação por base. O lodo de esgoto promoveu uma melhoria considerável na qualidade do solo degradado da área da cascalheira rajadinha, no que diz respeito as melhorias promovidas nos nutrientes presentes no solo.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de esgoto, solo, áreas degradadas.

INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto gera como um dos principais subprodutos o lodo, que é produzido nos processos de remoção de sólidos por sedimentação primária ou secundária. Trata-se de um passivo ambiental produzido em grandes quantidades e ainda sem disposição final adequada do ponto de vista técnico-econômico.

Lodo de esgoto é o resíduo sólido de maior volume gerado durante os processos de tratamento de efluentes. O acúmulo desse material nos pátios das estações de tratamento pode constituir uma ameaça ao meio ambiente, comprometendo parcialmente os efeitos benéficos da coleta e tratamento de esgoto (BRADY & WEIL, 2012). Na atualidade, esse material tem elevada demanda para emprego na recuperação de áreas degradadas pela exploração de minério, devido ao fato de ser um excelente condicionante de solos em decorrência da grande quantidade de material orgânico que possui (CAMPOS e ALVES, 2008; SAMPAIO *et al*, 2012).

Quando a vegetação nativa e a fauna de uma área são removidas, destruídas ou expulsas, uma camada de solo é retirada, perdida ou enterrada ou quando o regime de vazão do seu sistema hídrico é alterado, essa área é considerada degradada (IBAMA, 1990). Um exemplo da ocorrência dessa degradação acontece nas jazidas de materiais granulares retirados para serem empregados na implantação de rodovias (CORRÊA, 2007). O cascalho laterítico é explorado para uso em pavimentação, construção civil e fabricação de cimento. Em decorrência dessa atividade, uma extensa superfície do substrato fica exposta, sujeito a processos erosivos e com insipiente desenvolvimento de espécies vegetais. As camadas superficiais do solo são danificadas perdendo nutrientes e microrganismos além de ter suas características físico-químicas, como densidade, agregação, retenção de água e condutividade hidráulica, alteradas pela atividade antropogênica (KHALEEL, 1981).

Diversos métodos são aplicados visando devolver ao solo as características prévias à exploração. A aplicação do lodo de esgoto é potencialmente viável pois aumenta a porcentagem de matéria orgânica no solo, e como consequência traz o aumento da capacidade de agregação, a diminuição da densidade, o aumento da capacidade de retenção de água e o aumento de condutividade hidráulica.

O presente trabalho apresenta uma técnica de incorporação de lodo proveniente das estações de tratamento de esgoto (ETEs) de Brasília (ETE Norte, ETE Sul e ETE Melchior), em solo exposto de jazidas de exploração de cascalho laterítico no Distrito Federal, visando recuperar suas características originais.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a recuperação de áreas degradadas por exploração de cascalho laterítico utilizando a incorporação de lodo aeróbio proveniente de Estação de Tratamento de Esgoto.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área recuperada com superfície aproximada de 10 hectares, está localizada entre a DF-130 e VC-185, sendo a leste da DF-130 e a Sudoeste da VC-185 na porção Centro-Leste do território do DF.

O solo do polígono é classificado como Latossolo Vermelho, situado em parte na Bacia Hidrográfica do Rio Preto e em outra parte menor na Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu. Está a mais de 500 metros dos corpos hídricos mais próximos: o Córrego Estanislau, a Nordeste; e o Córrego Capão da Onça, a Oeste.

Está inserido na Área de Proteção Ambiental- APA Cafuringa (Bacia do Rio São Bartolomeu), com a Área de Proteção de Mananciais (APM) São Bartolomeu mais próxima, a 3,5 km ao Oeste. O curso d'água principal mais próximo é o Rio São Bartolomeu, a 6 km ao Oeste. A inclinação média da cascalheira Rajadinha é 5%, com amplitude de 2 a 8% no sentido Leste-Oeste.

Antes da recuperação, a área demonstrava uma extensa superfície de substrato exposto, sujeito a processos erosivos, em que é insipiente o desenvolvimento de espécies vegetais, exceto em duas áreas relativamente pequenas, que foram submetidas anteriormente à recuperação: uma situada ao norte do polígono, na qual houve o retorno do solo vegetal estocado na época da exploração; e outra, situada ao centro, em frente à entrada da cascalheira.

Para caracterizar a região foram coletadas 20 amostras dos primeiros 20 cm de solo, distribuídas ao longo da cascalheira. De acordo com o certificado de análise, o solo da cascalheira Rajadinha possui 42% de areia, 34% de argila e 24% de silte. O solo classificado com textura franco-argilosa é considerado apto a receber lodo de esgoto. A Tabela 1 apresenta os resultados dos macronutrientes presentes no solo das amostrados na cascalheira Rajadinha.

Tabela 1: Macronutrientes presentes no solo da cascalheira Rajadinha.

| Parâmetros | Unidade | Resultado |
|------------|-----------------------|-----------|
| pH em água | - | 5,3 |
| M.O. | dag/Kg | 0,5 |
| P | mg/dm ³ | 1,2 |
| K | mg/dm ³ | 19,6 |
| S | mg/dm ³ | 0,8 |
| Ca | cmolc/dm ³ | 0,1 |
| Mg | cmolc/dm ³ | 0,1 |
| Al | cmolc/dm ³ | 0 |
| H+Al | cmolc/dm ³ | 1,2 |
| CTC total | cmolc/dm ³ | 1,5 |
| V | % | 20 |
| m | % | 0 |

Observa-se que os valores da análise condizem com as características de um solo degradado. Por exemplo: a concentração de fósforo no solo analisado é 1,2 mg/dm³, este valor é bem inferior à quantidade recomendada por CORRÊA (2007), entre 10 e 15 mg kg⁻¹; a concentração de matéria orgânica está na faixa de 0,5%, valor característico das áreas mineradas do Distrito Federal (SILVA & CORRÊA, 2010), o mínimo recomendado por CORRÊA (2007) é de 2% e o considerado para um solo ideal é 5%.

O lodo utilizado neste trabalho, é proveniente de três estações de tratamento de esgoto de Brasília-DF, a ETE Norte, ETE Sul e ETE Melchior. As ETEs operam segundo o princípio do sistema de lodos ativados. Nas ETEs Brasília Norte (ETEB Norte) e Brasília Sul (ETEB Sul) são aplicados o método convencional ao passo que na ETE Melchior é aplicado um sistema híbrido entre lodo ativado de mistura completa e bateladas sequenciais. Dessa maneira, todo o lodo produzido é aeróbio. Nas três ETEs o lodo produzido é sujeito a adensamento e a desaguamento por meio de centrífugas.

O lodo objeto deste estudo foi aplicado nas mesmas condições em que é retirado das centrífugas das ETEs de Brasília. A Tabela 2 apresenta a composição dos lodos das estações de tratamento.

Tabela 2: Composição dos lodos de esgotos quanto aos parâmetros agrônômicos, expressos em base seca.

| Parâmetros | Unidade | ETE Norte | ETE Sul | ETE Melchior |
|----------------------------|--------------------|-----------|----------|--------------|
| pH em água destilada (1:5) | - | 6,61 | 7,50 | 5,81 |
| Umidade | % | 83,00 | 84,00 | 81,24 |
| Fósforo Total | % | 1,60 | 1,22 | 1,56 |
| Matéria Orgânica Total | % | 51,63 | 49,12 | 41,34 |
| Carbono Orgânico Total | % | 29,34 | 27,91 | 23,49 |
| Nitrogênio Total Kjeldahl | % | 5,43 | 6,09 | 4,05 |
| Nitrogênio Amoniacal | % | 0,60 | 0,47 | 0,15 |
| Nitrogênio de Nitrato | mg / kg | 9,34 | 10,97 | 33,99 |
| Nitrogênio de Nitrito | mg / kg | 2,99 | 2,18 | 10,69 |
| Nitrogênio Total | % | 5,43 | 6,11 | 4,06 |
| Enxofre | % | 2,40 | 1,40 | 2,46 |
| Sólidos Totais | % | 17,00 | 16,00 | 18,76 |
| Sólidos Totais Fixo | % | 6,86 | 5,92 | 7,77 |
| Sólidos Totais Volátil | % | 10,19 | 10,08 | 10,99 |
| Cálcio Total | % | 1,24 | 1,04 | 0,68 |
| Magnésio Total | % | 0,26 | 0,16 | 0,17 |
| Potássio Total | % | 0,11 | 0,22 | 0,11 |
| Sódio Total | % | 0,06 | 0,07 | 0,07 |
| Alumínio Total | % | 2,26 | 1,74 | 3,74 |
| Ferro Total | % | 1,29 | 1,59 | 2,17 |
| Coliformes termotolerantes | NMP / g MS | 5,91E+04 | 1,10E+05 | 1,23E+05 |
| Ovos viáveis de helmintos | Ovos viáveis /g MS | 3,85 | 4,37 | 5,31 |

Quanto às substâncias inorgânicas, expressas em base seca, as concentrações efetivas destes elementos não foram detectadas nas análises efetuadas.

A Tabela 3, apresenta a classificação dos lodos de esgotos a serem utilizados, conforme níveis máximos admissíveis estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 375/06.

Tabela 3: Classificação dos lodos de esgotos a serem utilizados, conforme níveis máximos admissíveis estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 375/06.

| ETE | Classe do lodo pelo parâmetro | | | | | | Classe Geral do lodo | | |
|----------------|-------------------------------|---|---|---------------------------|---|---|----------------------|---|---|
| | Coliformes termotolerantes* | | | Ovos viáveis de helmintos | | | | | |
| | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| Brasília Norte | | X | | | X | | | X | |
| Brasília Sul | | | X | | X | | | | X |
| Melchior | | X | | | X | | | X | |

*Obs.: Classificação com base nas análises feitas pelos laboratórios da CAESB para Coliformes termotolerantes.

Os valores mostrados na Tabela 4 apresentam os teores médios do lodo gerado nas ETEs em estudo. Os dados foram utilizados nos cálculos de aplicação de lodo na recuperação de áreas degradadas.

Tabela 4: Teores médios do lodo aplicado na área degradada.

| Propriedade/Elemento | Concentração (%) |
|----------------------|------------------|
| Umidade | 80 a 87 |
| Mat. Orgânica | 45 a 60 |
| Nitrogênio | 4,5 a 6,5 |
| Fósforo | 2,2 a 4,0 |
| Potássio | 0,3 a 0,4 |
| Cálcio | 4,0 a 5,0 |
| Magnésio | 0,2 a 0,5 |
| Sódio | 0,2 |

Em uma área de 9,5026 hectares foram aplicados 6044 m³ de lodo de esgoto, o que corresponde à uma taxa de aplicação de 636 m³/ha.

Após o licenciamento ambiental da jazida, em 10 de setembro de 2015, iniciou-se a confecção dos terraços e subsolagem da área em função das irregularidades que o terreno apresentava, devido a remoção de cascalho. Os terraços foram locados e confeccionados com espaçamento horizontal de 17,5 a 22 metros, como recomendado por CORRÊA (2007), com a finalidade de reduzir a velocidade do escoamento superficial da água de chuva evitando a formação de ravinas e o carreamento de sedimento e lodo de esgoto para fora dos limites da jazida. Para confecção dos terraços foi utilizado uma retroescavadeira com tração 4X4. Após a confecção dos terraços ocorreu a subsolagem das áreas onde seria aplicado o lodo, com um subsolador de haste acoplado em um trator agrícola com tração 4X4.

Após a confecção dos terraços e subsolagem do polígono, o mesmo foi dividido em áreas menores com o auxílio de GPS Garmim, para facilitar a aplicação da taxa correta de lodo de esgoto conforme determinado no projeto de licenciamento.

A partir do dia 15 de setembro de 2015 até 20 de outubro de 2015, o lodo de esgoto foi transportado até a área de aplicação por meio de caminhões do tipo basculante, com caçambas apropriadas e capacidade de 10m³. As caçambas dos caminhões eram constituídas de material impermeável, com sistema de vedação, e cobertura total da carga por meio de lonas plásticas resistentes, a fim de evitar vazamentos durante o trajeto. O lodo foi descarregado em diferentes pontos da área, de forma a atingir a taxa de aplicação de 636 m³/ha.

Conforme o lodo estava sendo descarregado, o mesmo era espalhado por uma retroescavadeira com tração 4X4, utilizando-se da concha dianteira para uma melhor homogeneização do lodo em toda área. Após o dia 01 de outubro de 2015 efetuou-se a incorporação do lodo por meio de uma aradora de 4 disco, acoplada a um

trator agrícola com tração 4X4. A incorporação foi realizada seguindo o nível do terreno com uma profundidade aproximada de 20 cm.

Em seguida utilizando-se de uma espalhadeira de sementes/cal, acoplada ao trator agrícola 4X4, foi aplicado em média 1Kg de cal hidratada para cada tonelada de lodo incorporado ao solo. A aplicação da cal hidratada, foi efetuada para inibir a ocorrência de vetores na área e minimizar o odor.

Dez dias, após o processo de incorporação do lodo, a área foi revolvida para uma melhor uniformidade do lodo ao solo. Para uma conformação do terreno com uma grade aradora com 16 discos de 28 polegadas acoplado em um trator de pneu tração 4x4.

Em 13 de novembro de 2015 houve a aplicação da semente de milho (*Pennisetum glaucum*) devido às suas características de extração de nutrientes e descompactação do solo. Quatro meses após a semeadura ocorreu uma roçagem de toda a área, para evitar queimada, e também fazer uma palhada que funciona como uma proteção do solo, evitando perda de umidade, e adubação verde.

O plantio das 4.725 mudas de árvores nativas do cerrado, iniciaram em janeiro de 2017, foram realizados conforme a espécie da muda escolhida. As mudas plantadas para mata de galeria não inundável foram o Angico-Vermelho, Cedro, Gonçalo-Alves, Ipê-Amarelo-da-Mata, Ipê-Branco, Jatobá-da-Mata, Mirindiba, Monjoleiro, Mutamba, Pau-Jacaré, Pajeú e Tamboril-da-Mata. Para as galerias de mata inundável foram plantadas Embaúba, Ingá-Mirim, Jenipapo, Landim, Marinho, Ingá-de-Colar, Landim e Sombreiro. Também foram plantadas espécies de mudas para cerrado sentido restrito, Aroeira, Chichá, Jacarandá-Mimoso, Embiruçu-Peludo e Peroba-Rosas.

A aplicação de técnicas de conservação associada à incorporação do lodo de esgoto com arado obedecendo o nível do terreno faz com que água oriunda de precipitações seja melhor distribuída, aumentando a evaporação e infiltração no solo. A aplicação destas técnicas também diminui o escoamento superficial destas águas evitando o transporte de solo e lodo de esgoto para a parte mais baixa do terreno, reduzindo desta forma o risco de escoamento para fora da jazida e possível contaminação de corpos hídricos próximos o que causaria danos ambientais.

RESULTADOS

A adição de lodo de esgoto promoveu o aumento nas quantidades de M.O, P, K, S, Ca, Mg, Al, H+Al, CTC Total, V e m e redução no pH, como pode ser observado na tabela 5.

Tabela 5: Macronutrientes presentes no solo da cascalheira Rajadinha antes e após aplicação de lodo de esgoto.

| Parâmetros | Unidade | Resultado Antes da Aplicação | Resultado Após a Aplicação |
|------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|
| pH em água | - | 5,3 | 4,6 |
| M.O. | dag/Kg | 0,5 | 2,5 |
| P | mg/dm ³ | 1,2 | 30,9 |
| K | mg/dm ³ | 19,6 | 82,11 |
| S | mg/dm ³ | 0,8 | 2,8 |
| Ca | cmolc/dm ³ | 0,1 | 1,1 |
| Mg | cmolc/dm ³ | 0,1 | 0,2 |
| Al | cmolc/dm ³ | 0 | 0,4 |
| H+Al | cmolc/dm ³ | 1,2 | 5 |
| CTC total | cmolc/dm ³ | 1,5 | 6,6 |
| V | % | 20 | 24 |
| m | % | 0 | 20 |

Segundo Côrrea (2007), os solos do Cerrado apresentam pH mediantemente ácido de (5,0-5,5), enquanto o pH das áreas degradadas pela mineração varia de fortemente ácido (<5,0) a fortemente alcalino (>7,8). O pH após aplicação do lodo apresentou uma redução, 5,3 para 4,6 tornando o solo muito ácido. Segundo BUENO (2010) “a incorporação do lodo de esgoto ao solo agrícola pode elevar ou mesmo acidificar o solo em virtude do tratamento a que o lodo de esgoto é submetido na ETE”. Apesar da adição de cal para higienização do lodo, o pH não aumentou, comportamento que pode ocorrer em poucos casos (BERTON et al., 1989).

O aumento da acidez do solo, com a redução do pH, também pode ser confirmado pelo aumento da acidez potencial de 1,2 para 5,0 cmolc/dm³, indicando que o solo encontra-se ácido.

De acordo com Corrêa (2007), o solo do cerrado com pH menores que 5,0 pode apresentar concentrações tóxicas de manganês, neste caso, a concentração de manganês disponível antes da aplicação era de 0,3 mg/dm³, e após a aplicação do lodo elevou para 6 mg/dm³, tendo o valor de referência entre 6 a 8,9 mg/dm³ é classificado como toxicidade média. A redução da acidez do solo diminui a toxicidade do Mg.

Observa-se que os valores da análise após aplicação do lodo, elevou a concentração de Fósforo no solo de 1,2 a 30,9 mg/dm³. Valor este caracterizado como alto, acima do valor de referência de 12. Segundo Corrêa (2007) “no Cerrado, os solos são frequentemente argilosos, mediantemente ácidos e ricos em sesquióxidos de ferro e alumínio, que resultam na retenção de grandes quantidades de fósforo”. Entre 10 e 15 mg kg⁻¹. BUENO (2010) lembra que elevada concentração de P disponível “no solo podem resultar em fonte de poluição das águas superficiais, em decorrência da erosão do solo.” Esse aumento significativo de fósforo após adição de lodo também foi observado por Colodro e Espíndola (2006).

O Cálcio teve um aumento de 0,1 para 1,11 cmolc/dm³, essa quantidade ainda é considerada baixa, o que pode ser explicada pelo aumento da acidez que o solo apresentou após incorporação do lodo do esgoto. Para CORRÊA (2007) “a calagem corrige a acidez e a toxicidade por alumínio e manganês, aumenta a absorção vegetal de vários nutrientes (fósforo, potássio e outros) e fornece cálcio (Ca) e magnésio (Mg) para as plantas”.

A aplicação de lodo de esgoto promoveu o aumento de Mg no solo da cascalheira, trabalhos de outros autores também observaram aumento na quantidade de Magnésio. O aumento na quantidade de magnésio ainda é considerada baixa, pois apresenta valores menores que 0,4 cmolc/dm³. “A literatura ressalta que solos que recebem lodo de esgoto, notadamente os florestais e pastagens, somente apresentam resultados visíveis quanto ao teor de magnésio somente quando ocorrem aplicações por longos períodos” (GARCIA; GONÇALVES; MADALÃO; NAZÁRIO; BRAGANÇA, 2009).

A quantidade de potássio presente no solo após a aplicação do lodo de esgoto, apresentou um aumento significativo de 19,6 para 82,11 mg/dm³. Valor considerado alto, pois apresenta valor superior a 0,13 g/dm³. Esse aumento pode ser em função da calagem do solo que auxilia a adsorção de íons de potássio e da presença de matéria orgânica que reduz a lixiviação de K (CORRÊA, 2007).

Antes da aplicação de lodo de esgoto na área, não havia presença alumínio, após a aplicação, o valor apresentado pelas análises foi de 0,4 cmolc/dm³. O aumento na quantidade de alumínio, pode estar relacionada com a presença do macronutriente no lodo de esgoto aplicado e pela redução do pH. A quantidade de alumínio não configura atenção, pois o valor encontrado é classificado como de baixa toxidez.

O solo da cascalheira após a aplicação de lodo de esgoto apresentou uma saturação por Alumínio (m) de 20% classificada como baixa pelo valor de referência. Alguns autores admitem que m%, igual ou menor que 20%, não é prejudicial as plantas.

A CTC é um importante parâmetro na avaliação de recuperação de solo degradado, pois ele permite um maior armazenamento de elementos catiônicos (MELO, 1994). O aumento teores de matéria orgânica contida no lodo de esgoto contribuem para esse aumento na CTC (GARCIA; GONÇALVES; MADALÃO; NAZÁRIO; BRAGANÇA, 2009; SIMONETE, 2003). A capacidade de troca catiônica (CTC ou T), a saturação por bases (V) e a disponibilidade de nutrientes para os vegetais são fortemente influenciadas pelo pH do solo/substrato em ecossistemas tropicais (CÔRREA, 2007). O solo da Cascalheira após a aplicação do lodo apresentou uma CTC de 6,6 cmolc/dm³, aumentando mais de 4 vezes o valor em relação ao valor de 1,5 antes da aplicação do

lodo de esgoto. Apesar de ter elevado a capacidade de troca de cátions, o valor ainda é considerado baixo. Em solos com baixa CTC tem pouca capacidade de reter cátions trocáveis. Pode ter grande perda de nutrientes por lixiviação. O aumento da CTC, após incorporação de lodo ao solo também foi observado em outros trabalhos de (COLODRO; ESPÍNDOLA, 2006; BUENO, 2010; GARCIA; GONÇALVES; MADALÃO; NAZÁRIO; BRAGANÇA, 2009).

A saturação por bases (V%) mostra o nível de fertilidade do solo. O solo que apresenta a percentagem de saturação por bases maior que 50% é considerado um solo fértil, resultados inferiores são considerados solos não férteis ou de baixa fertilidade. A cascalheira apresentava uma saturação por base antes da aplicação de lodo de 20% e após a aplicação de lodo 24%, considerada baixa pelo valor de referência que vai de 20,1 a 40%. Um V% baixo indica que as cargas negativas dos colóides do solo estão adsorvendo mais H^+ e Al^{3+} e pequena quantidade de cátions trocáveis (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). Sendo assim, o solo será ácido.

A concentração de matéria orgânica antes da aplicação de lodo de esgoto era de 0,5%, valor característico das áreas mineradas do Distrito Federal segundo SILVA & CORRÊA (2010). A aplicação de lodo de esgoto da cascalheira elevou a 2,51% de matéria orgânica, em uma faixa de 0 a 20 cm de profundidade. A quantidade mínima de MO recomendada por CORRÊA (2007), para uma condição mínima de revegetação é de 2%, portanto a quantidade de MO apresentou resultado satisfatório.

Após a aplicação do lodo, a quantidade de enxofre aumentou de 0,8 para 2,8 mg/dm^3 , consequência da quantidade de enxofre presente no lodo de esgoto. Apesar do aumento da quantidade de enxofre após a aplicação do lodo de esgoto, a quantidade do nutriente ainda é considerada baixa. Para CORRÊA (2007), “os vegetais absorvem cerca de dez partes de nitrogênio para cada parte de enxofre, que se encontra em solos de Cerrado quase que exclusivamente sob a forma orgânica. Como outros nutrientes, há deficiência de enxofre nos solos de Cerrado”.



Figura 1: Fotografia da área degradada pela exploração do cascalho laterítico.



Figura 2: Fotografia da área durante a aplicação do lodo de esgoto.



Figura 3: Fotografia da área durante a aplicação do lodo de esgoto e processo de aração do solo.



Figura 4: Fotografia da área depois da aplicação de cal hidratada.



Figura 5: Fotografia da área depois de um mês contado a partir da semeadura de milho (*Pennisetum glaucum*).



Figura 6: Fotografia da área dois anos contados a partir do plantio das mudas nativas do Cerrado.



Figura 7: Fotografia da área dois anos contados a partir do plantio das mudas nativas do Cerrado.



Figura 8: Fotografia da área dois anos contados a partir do plantio das mudas nativas do Cerrado.

CONCLUSÃO

O lodo de esgoto promoveu uma melhoria considerável na qualidade do solo degradado da área da cascalheira rajadinha, no que diz respeito as melhorias promovidas nos nutrientes presentes no solo, como a matéria orgânica, o potássio, o fósforo, o magnésio, o alumínio, a acidez potencial, a saturação por bases e a saturação de alumínio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERTON, R. S.; CAMARGO, O. A. & VALADARES, J. M. A. S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, v. 13, p. 187-192, 1989.
2. BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 685 p.

3. BUENO, J. R.P. Qualidade do Solo Após Sucessivas Aplicações de Lodo de Esgoto Para Cultivo de Milho. 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado em Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical, Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais) - Instituto Agronômico, Campinas-SP, 2010.
4. CAMPOS, F S; ALVES, M C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.32 nº.4, 2008.
5. COLODRO, G. e ESPÍNDULA, C. R. Alterações na fertilidade de um latossolo degradado em resposta à aplicação de lodo de esgoto. Acta Scientiarum. Agronomy, vol.28, núm. 1, enero-marzo, 2006, pp. 1-5. Universidade Estadual de Maringá – Paraná.
6. CORRÊA, R S. Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado – manual para revegetação. Brasília: Universa, 2007. 173 p.
7. IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. 96p., Brasília: IBAMA, 1990.
8. KHALEEL, K. R. REDDY, AND M. R. OVERCASH. Changes in Soil Physical Properties Due to Organic Waste Applications: A Review1 R. 2 Journal of Environmental Quality. Vol. 10 No. 2, p. 133-141. 1981.
9. MELO, E.F.R.Q. Alterações nas características químicas do solo de uma área degradada em recuperação. In: BALENSIEFER, M. et al. (Ed.). SIMPÓSIO SUL AMERICANO E II SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADA. 1., 1994. Curitiba. Anais... Curitiba: FUPEF, 1994. p. 371381.
10. CONAMA 375/2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. 2006.
11. SAMPAIO T F; Guerrini I A; Backes C; Heliodoro 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. Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]. 2012, vol.36, n.5, pp.1637-1645.
12. SILVA, Lucas C R; CORRÊA, R S. Evolução da qualidade do substrato de uma área minerada no cerrado revegetada com Stylosanthes spp. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v. 14, n.8, p-835-841, 2010.
13. SIMONETE, M.A. et al. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. Pesq. Agropecu. Bras., Brasília, v. 38, n. 0, 2003.