

4

ASPECTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DA DISPOSIÇÃO DO LODO DE ETE NO SOLO

Aureliano Nogueira da Costa
Adelaide de Fátima Santana da Costa
Luiz Carlos Santos Caetano



INTRODUÇÃO

A geração de resíduos orgânicos tem aumentado anualmente em nível mundial, podendo-se destacar os resíduos urbanos oriundos das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), denominado de lodo de esgoto. O termo lodo é utilizado para referenciar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos. Esse resíduo sólido é proveniente de processos biológicos do tratamento, em que parte da matéria orgânica é absorvida e convertida, fazendo parte da biomassa microbiana. Como essa massa é composta principalmente de sólidos biológicos, é também denominada de biossólido. Para uso dessa terminologia, é necessário que suas características químicas e biológicas sejam compatíveis com uma utilização produtiva, como, por exemplo, a agricultura, e não uma utilização improdutiva como a destinação em aterros sanitários ou incineração. O lodo de ETE é uma fonte alternativa de nutrientes para a fertilização das culturas, uma vez que os fertilizantes químicos são fontes finitas, não se enquadram nas premissas da produção orgânica de alimentos e são componentes significativos na composição dos custos de produção. Com base nesses princípios, os estudos sobre sua aplicação no solo como fonte de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, e como fonte de matéria orgânica tem mostrado efeitos benéficos ao crescimento e desenvolvimento das culturas.

Um dos principais efeitos da matéria orgânica sobre os atributos físicos do solo está associado ao grau de agregação, que afeta diretamente a densidade, a porosidade, a aeração e a capacidade de retenção e infiltração de água. Portanto, faz-se necessária a análise da dinâmica da decomposição da matéria orgânica adicionada aos diferentes tipos de solos utilizados com fins agrícola e florestal.

A dinâmica de mineralização da matéria orgânica tem sido o foco prioritário dos trabalhos de pesquisa desenvolvidos com lodo de esgoto, em razão do potencial de sua utilização para diversas culturas, prática que começa a ser adotada dentro dos critérios de segurança, para a garantia da saúde dos seres humanos, de forma que evitem danos ao meio ambiente.

A avaliação da aptidão agrícola e florestal bem como

a avaliação das características, químicas, físicas e biológicas do solo devem ser realizadas considerando-se as restrições ambientais e pedológicas, além das indicações das culturas a serem empregadas.

DISPOSIÇÃO DO LODO DE ESGOTO NO SOLO

A disposição do lodo de esgoto é considerada benéfica quando se leva em consideração suas propriedades química, física e biológica, que serão aproveitadas como fertilizante e condicionador do solo envolvendo práticas de reciclagem agrícola, recuperação de áreas degradadas, substrato para a produção de mudas, entre outras.

O tratamento de esgoto consiste basicamente da utilização de processos físicos, químicos e biológicos, que resultam na remoção dos sólidos sedimentáveis e da matéria orgânica das águas residuárias, produzindo o resíduo sólido em quantidade e composição variáveis de acordo com as características dos efluentes e dos processos de tratamento adotados. O controle sobre a qualidade dos tipos de efluentes lançados na rede coletora é imprescindível para que o lodo gerado possa ser utilizado na agricultura. Esse controle é imprescindível para viabilizar os trabalhos com a aplicação do lodo de esgoto domiciliar urbano em cultivos agrícola e florestal no Espírito Santo.

HIGIENIZAÇÃO DO LODO

A higienização do lodo é uma prática necessária para sua destinação à reciclagem agrícola, uma vez que os processos de digestão anaeróbia e aeróbia empregados não reduzem a contaminação por patógenos e parasitas a níveis aceitáveis pela resolução Conama 375 de 2006. O processo mais utilizado para higienização do lodo é a adição de cal virgem em quantidades que variam de 20 a 50% de seu peso seco.

O processo é realizado pela combinação dos fatores temperatura e potencial hidrogeniônico (pH). A adição de cal virgem no lodo de ETE eleva a temperatura acima de 70°C por um período de 24 horas, que, aliado

ao efeito da elevação do pH acima de 12, promove a higienização do lodo, deixando-o em condições de uso agrícola e florestal. A Tabela 1 apresenta os resultados de medição do pH a partir de 24 horas após a aplicação de diferentes quantidades de cal virgem, em ensaio de incubação do lodo de esgoto no solo.

TABELA 1 - Comportamento do pH do lodo de esgoto em função da aplicação de diferentes quantidades de cal virgem por um período de 72 horas

% de cal virgem (base seca)	Tempo após a aplicação do tratamento		
	24 horas	48 horas	72 horas
0	4,9	4,8	4,7
5	8,4	8,2	8,1
10	10,4	9,5	9,4
15	12,1	12,1	12,1
20	12,2	12,2	12,1
25	12,3	12,3	12,2
30	12,3	12,3	12,2
35	12,3	12,3	12,3
40	12,3	12,3	12,3
45	12,3	12,4	12,3
50	12,3	12,3	12,3

CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo é considerado um meio para o crescimento das comunidades de organismos vivos. Submetido a constantes trocas gasosas que ocorrem entre a atmosfera acima e abaixo da superfície, as quais são influenciadas pelas condições climáticas, pelos ciclos hidrológicos e pelas técnicas de manejo agrícola adotadas, o solo desempenha importante papel nas condições ambientais que influenciam as reações biofísicoquímicas da decomposição de materiais orgânicos e reciclagem de nutrientes para o contínuo processo de desenvolvimento biológico, além de servir de suporte para o crescimento do sistema radicular dos vegetais.

ESTRUTURA DO SOLO

A estrutura do solo é o resultado da agregação entre partículas minerais e orgânicas, formando unidades maiores de solo denominados agregados. Este processo é altamente dependente das propriedades físicas e químicas da matéria orgânica (MO) e da atividade biológica, o que resulta na organização natural da matéria sólida constitutiva dos horizontes

componentes do perfil de solo. De modo geral, os solos que apresentam maior quantidade de MO possuem uma melhor estruturação.

Os espaços porosos existentes entre os agregados do solo são classificados em função do tamanho, como macroporos (porosidade de aeração) e como microporos (porosidade de retenção de umidade). A água contida nos macroporos drena livremente, pela ação da força da gravidade, o que reduz a sua disponibilidade para absorção pelos vegetais. Por outro lado, a água contida nos microporos é considerada disponível para as plantas e outros organismos vivos, devido à ação das forças capilares que retêm a água nos microporos evitando que a mesma seja drenada pela força da gravidade, o que a deslocaria para longe da área explorada pelo sistema radicular das plantas.

A água no sistema solo contém substâncias orgânicas e minerais em formas que podem ser ou não absorvíveis pelas plantas. Por essa razão, a água do solo é denominada de solução do solo, que é extremamente importante para a nutrição das plantas, pois é nela que ocorre o deslocamento de íons até a superfície das raízes, condição necessária para que ocorra a absorção de nutrientes pelos vegetais.

DENSIDADE DO SOLO

Os solos apresentam dois tipos distintos de densidade: a densidade de partículas e a densidade do solo propriamente dita.

A densidade de partículas depende da composição química e da estrutura cristalográfica da partícula mineral, sendo calculada pela relação entre a massa e a unidade de volume dos sólidos do solo. A densidade do solo envolve a massa das partículas e o espaço poroso, sendo calculada pela relação entre a massa de solo seca e o volume total do solo (sólidos mais espaços porosos).

Os solos com elevada proporção de espaços porosos em relação aos sólidos apresentam densidades menores. Solos argilosos e siltosos possuem, via de regra, densidades menores do que solos arenosos. Para um mesmo tipo de solo, quanto maior for o teor de

matéria orgânica, menor será a sua densidade, ou seja, apresentará maior porosidade, fato este que favorece o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, a absorção de água e nutrientes pelas plantas. A densidade do solo é fortemente influenciada pelas práticas de manejo do solo. Assim, um manejo inadequado poderá levar à compactação do solo, ocasionando redução da produtividade das culturas. Por outro lado, a utilização de práticas de manejo adequadas associada à adição de matéria orgânica ao solo, como, por exemplo, o lodo de ETE, poderá favorecer a produtividade.

Portanto, o uso de biossólidos deve ser avaliado pelo comportamento do solo quanto à erodibilidade, à drenagem interna e também a impedimentos à motomecanização, fatores que interferem na aplicação e incorporação adequada do resíduo sólido.

Solos mais profundos, com alta capacidade de infiltração e percolação, de textura mais fina, boa drenagem e aeração, com pH inferior a 6,5, terão uma maior resposta à aplicação do lodo de esgoto tratado com cal virgem. O lodo compostado pode ser utilizado em solos com qualquer faixa de pH.

MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Geralmente, os solos cultivados no Estado do Espírito Santo apresentam elevado nível de degradação, principalmente pelo uso sistemático de práticas agrícolas inadequadas ao longo de vários anos, como o uso intensivo de máquinas agrícolas para o preparo do solo. Há uma relação direta entre os diferentes sistemas de uso e manejo do solo em suas propriedades físicas. Em geral, ocorre um aumento da densidade do solo e uma diminuição da porosidade, da infiltração e da condutividade hidráulica, quando os solos são submetidos a diferentes sistemas de manejo, em relação ao seu estado natural. Esse uso inadequado, associado ao baixo teor original de matéria orgânica dos solos, reduz ainda mais o teor de MO do solo e, conseqüentemente, dos nutrientes nela contidos.

A fração orgânica do solo, embora ocorra em proporções relativamente pequenas (2 a 5% da fração sólida dos solos) na maioria dos solos, assume papel qualitativo

importante nas propriedades físicas dos mesmos, agindo como condicionador do solo, exercendo forte influência na porosidade, retenção de água, densidade e nas propriedades químicas, sendo também a principal fonte de energia para os micro-organismos do solo. De maneira geral a matéria orgânica se destaca como boa fonte de fósforo (P) e enxofre (S) e, excelente fonte de nitrogênio (N) para os vegetais que não possuem a capacidade de fixação biológica do nitrogênio atmosférico.

A matéria orgânica apresenta grande capacidade de retenção de cátions devido às suas propriedades coloidais, com a presença de cargas negativas em seus sítios de troca iônica. As superfícies de troca da fração sólida do solo (mineral ou orgânica) funcionam como reservatório de nutrientes para as plantas. Os cátions retidos pelas cargas negativas da superfície dos colóides podem ser trocados por outros cátions que se encontram na solução do solo, os quais são absorvidos pelas plantas. À medida que os cátions da solução são retirados das superfícies de troca por absorção pelas plantas ou por lixiviação, se estabelece um novo equilíbrio, através da liberação de íons da superfície de adsorção para a solução. Da mesma forma, quando os nutrientes são adicionados ao solo, como, por exemplo, pela adição de fertilizantes, parte é absorvida pelas plantas e parte fica armazenada como reserva nos sítios de troca.

A resposta das plantas à adição de nutrientes depende das condições do clima, da umidade do solo, das características físicas e químicas do solo e do tipo de práticas agrícolas adotadas. A matéria orgânica se destaca pela sua capacidade tampão no solo, o que evita as bruscas variações na disponibilidade dos nutrientes, sendo responsável por mais de 50% do valor da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo.

Altos teores de MO, valores acima de $25 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ ($>2,5\%$), indicam que o solo possui alta capacidade de retenção de cátions, maior poder tampão à variação do pH, maior resistência à insolubilização de micronutrientes devido à aplicação de elevadas doses de calcário, altos teores de nitrogênio, maior disponibilidade de nutrientes e menor fixação do fósforo aplicado, elevada capacidade

de formação de complexos com metais presentes na solução do solo, que normalmente são tóxicos às plantas quando em quantidades excessivas (Al, Mn e Fe). Valores entre 15 e 25 g.dm⁻³ (1,5 a 2,5%) são considerados intermediários. Por outro lado, baixos teores de MO, valores inferiores a 15 g.dm⁻³ (<1,5%), são frequentes em solos que apresentam baixas CTCtotal e CTCefetiva, que possibilitam elevada lixiviação de bases (Ca, Mg e K), baixo poder tampão, fato este que eleva o risco de efeitos tóxicos de adubos com alto poder salino, elevando a probabilidade de ocorrência de deficiência de macro e micronutrientes que possuem como principal fonte a mineralização da matéria orgânica.

RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO

A decomposição da matéria orgânica, no solo, é um processo relativamente lento, dependente da relação Carbono/Nitrogênio (relação C/N) do material em decomposição, que deve estar próxima de 20. Quando a relação carbono/nitrogênio é menor que 20 (C/N < 20) o processo de mineralização do nitrogênio orgânico é mais rápido com maior disponibilidade de N. Relação C/N > 20 o processo de decomposição é mais lento podendo ocorrer o sequestro ou imobilização de N do solo pelos micro-organismos, resultando na deficiência de N no solo e baixa disponibilidade para a planta.

A composição química dos lodos de esgoto é variável de acordo com o tipo de processo empregado, primário ou secundário (lodo de lagoas, lodo ativado, entre outros), com o tipo de esgoto tratado (doméstico ou industrial), ou ainda para uma mesma estação conforme a época do ano, diversificação da rede coletora em relação à classe social da população geradora do esgoto ou mesmo conforme a época. Em relação ao teor de matéria orgânica, é de se esperar um teor muito menor em lodos de lagoas anaeróbias, em comparação com os teores verificados em lodos oriundos de outras estruturas de tratamento, considerando-se que, em decorrência do maior tempo de retenção (em média 10-15 anos), os lodos de lagoas apresentam-se em estágio mais avançado no processo de degradação (mineralização) da matéria orgânica.

Assim sendo, a disposição de lodo de esgoto nos solos

irá promover, além do aumento dos teores de matéria orgânica, a elevação da CTC e o aumento da atividade biológica do solo.

FONTE DE MACRO E MICRONUTRIENTES NO LODO DE ETE

Os nutrientes encontrados em maior quantidade no lodo de esgoto são o nitrogênio, elemento de maior valor econômico no lodo de esgoto e de grande exigência pelas plantas, e o fósforo. O cálcio e o magnésio são encontrados em menor quantidade no lodo bruto; porém, quando a higienização é feita por adição de cal virgem, o nível de cálcio se eleva. O potássio está presente em quantidades pequenas. As concentrações de micronutrientes são variáveis, mas se observa uma quantidade maior de cobre, zinco e manganês e uma quantidade mais reduzida de boro, molibdênio e cloro. Quando o lodo é aplicado como única fonte de nitrogênio, na maioria das vezes as doses de micronutrientes disponibilizadas são suficientes para suprir as necessidades das plantas. Como a concentração de alguns nutrientes no biossólido é baixa, há necessidade de complementação com outras fontes de fertilizantes, principalmente para o caso do fósforo (grande exigência pelas plantas e baixa concentração na maioria dos solos brasileiros), e do potássio (baixa concentração no biossólido). A dosagem a ser utilizada será em função do resultado da análise do solo e das exigências nutricionais da cultura a ser implantada.

A velocidade de mineralização do N orgânico é variável, principalmente em função da temperatura, umidade no solo e atividade microbiana. A fração de volatilização do N amoniacal também é variável, principalmente em função da exposição ao ar. Essas perdas podem ser minimizadas com a incorporação do biossólido ao solo, onde grande parte da amônia que volatiliza será retida pelas partículas do solo e convertidas a nitrato, permanecendo o N disponível para as plantas.

Com o objetivo de avaliar a influência da aplicação de lodo de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), higienizado com cal virgem, como fonte de nitrogênio, nas características químicas do solo, em área de plantio de café arábica, instalada no Centro Regional

de Desenvolvimento Rural Centro Serrano, base física do Incaper, utilizou-se quantidades crescentes de lodo de esgoto com 0,7% N e 48% de umidade (22,4; 44,6; 66,7; 89,2; 111,3 e 133, 5 t /ha), que correspondem respectivamente a 82, 162, 242, 322, 402 e 482 kg/ha de N. Essas quantidades foram divididas em três aplicações de quatro em quatro meses. Foi realizada a adubação complementar com cloreto de potássio (283 kg/ha) e superfosfato simples (126 kg/ha) em todos os tratamentos aplicados experimentalmente. As amostras de solo para análises foram coletadas na profundidade de 0 - 20 cm e de 20 - 40 cm. Observou-se que houve uma tendência de aumento dos teores de nutrientes, em praticamente todos os tratamentos, para as variáveis avaliadas, com uma relação direta e crescente em função do aumento da dose de lodo, com exceção do alumínio, que apresenta uma relação inversa. A aplicação do lodo de ETE higienizado com cal virgem foi responsável pela elevação do pH e CTC do solo e pelo aumento do teor de cálcio. Houve uma resposta significativa para a disponibilidade de micronutrientes, tais como boro, cobre, manganês e zinco. A aplicação dos tratamentos com maiores quantidades de lodo higienizado com cal virgem proporcionou uma redução progressiva nos teores de alumínio do solo, até valores próximos de zero.

O estudo realizado com base nos critérios para identificação das áreas aptas para a disposição de lodo de ETE na agricultura, no Estado do Espírito Santo, identificou que a maior expressividade em áreas com alta aptidão para o uso do lodo de esgoto está nas microrregiões Extremo Norte (84,34%), seguida pela microrregião Litoral Norte (68,22%) e pela microrregião Noroeste-2 (61,12%). Nessas microrregiões, com um maior potencial de áreas com alta aptidão para disposição do lodo de esgoto, o relevo varia de plano a suave ondulado, predomina solos de baixa fertilidade, pobres em matéria orgânica e acentuada coesão do subsolo.

As demais microrregiões apresentaram um percentual inferior a 60%, chegando a atingir 15,51% na microrregião Caparaó. A região do Caparaó apresenta o mais baixo percentual de áreas com alta aptidão para a disposição do lodo de esgoto do Estado, entretanto apresenta também solos com baixo teor de matéria orgânica e deficiências nutricionais.

Com base nessas constatações pode-se afirmar que o lodo de esgoto, em cultivos agrícola e florestal, contribuirá para a melhoria do manejo cultural nas propriedades agrícolas de base familiar, principalmente para as que estão inseridas em microrregiões com alto potencial de uso, sendo uma fonte de matéria orgânica e nutrientes alternativa, segura e de baixo custo.

DINÂMICA DA DECOMPOSIÇÃO DO LODO DE ESGOTO E PRODUÇÃO DE CO₂

Nos trabalhos desenvolvidos no Espírito Santo, no “Projeto Lodo”, para a avaliação do potencial de utilização do lodo de esgoto na agricultura foram analisados os efeitos de doses de lodo aplicadas e a sua relação com a produção de CO₂ e com a eficiência do processo de decomposição. Para isso foi desenvolvido um equipamento de respirometria baseado na medição da condutividade para a leitura e quantificação do volume de CO₂ produzido.

A dinâmica da decomposição do carbono orgânico adicionado ao solo via matéria orgânica também foi avaliada, relacionando a produção total de CO₂ com o carbono total adicionado, em que foi verificada uma relação direta entre a quantidade de lodo aplicado no solo e a emissão de CO₂. Foram identificadas três fases distintas, a inicial, que apresenta leve decaimento, as intermediárias, que apresentam decaimento acentuado, e a final, de saturação da solução de NaOH, que apresenta também leve decaimento.

A recomendação da quantidade e periodicidade de aplicação do lodo foi testada experimentalmente para diversas culturas em diferentes classes de solo, o que permitiu identificar a quantidade de lodo de esgoto capaz de promover maior produtividade e menor impacto ambiental quanto à liberação de CO₂ e disponibilidade de nutrientes.

UTILIZAÇÃO EM ÁREAS DEGRADADAS

A utilização inadequada dos solos proporciona, gradativamente, prejuízos significativos às suas propriedades química e física, com degradação dos

agregados, redução da infiltração de água no perfil e elevação do escoamento superficial, favorecendo a erosão, podendo causar grandes impactos ambientais.

O uso da cobertura vegetal como medida mitigadora desses impactos tem se tornado uma opção para minimizar o acúmulo de sedimentos, de nutrientes e demais resíduos nos rios e demais corpos hídricos. O grande desafio para a recuperação das áreas degradadas é a recomposição do horizonte A, que compreende uma camada de 0 a 20 cm, onde se concentra a maior quantidade e troca de nutrientes e matéria orgânica do solo. A principal fonte de carbono para a utilização microbiana é a biomassa das plantas; entretanto, sem o devido acúmulo de matéria orgânica no solo, os níveis da atividade microbiana e o crescimento vegetal são reduzidos.

A adição de diferentes fontes de matéria orgânica tem sido utilizada buscando melhorar a propriedade química e física dos solos degradados. A aplicação do lodo higienizado com cal virgem tem se mostrado uma opção promissora para acelerar o crescimento e o estabelecimento de espécies que promovam a cobertura inicial do solo, reduzindo o impacto das águas de chuva, possibilitando a restauração do equilíbrio do ecossistema.

COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM

A aplicação de cal virgem ao lodo de esgoto e a compostagem são os processos mais utilizados e considerados seguros para a higienização do lodo de modo a garantir a redução significativa dos organismos patogênicos e viabilizar o seu uso como fonte de matéria orgânica e nutrientes na agricultura.

O lodo de ETE, em função de sua relação C/N em torno de 10, se destaca com alto potencial de uso como fonte de N no processo de compostagem. A adição de um resíduo complementar rico em carbono e pobre em nitrogênio, em quantidade adequada, elevará a relação C/N para um valor próximo a 20.

Experimento de compostagem conduzido na Fazenda Experimental de Sooretama, pertencente ao Incaper, no ano de 2010, utilizando-se tratamentos com lodo bruto,

lodo higienizado com cal virgem, com três dosagens distintas de cal, lodo bruto com adição de palha de café, todos compostados com capim napier, em delineamento experimental de blocos casualizados, com três repetições, mostrou que a compostagem do lodo bruto foi eficiente para a higienização, não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, garantindo um controle eficiente dos patógenos, promovendo a redução desses agentes em níveis abaixo dos exigidos pela Resolução Conama nº 375 de 2006.

A vermicompostagem, resultado da ação detritívora das minhocas e da microflora que vive em seu sistema digestivo, é outro processo que tem sido considerado para auxiliar a higienização do lodo de esgoto. Experimentos realizados com a vermicompostagem de lodo de esgoto proveniente de duas ETEs da Cesan, no Espírito Santo, mostraram que esse processo não viabilizou a redução dos organismos patogênicos em níveis aceitáveis pela Resolução, porém pode ser utilizada de forma complementar no controle de patógenos e na humificação da matéria orgânica, caso a compostagem não atinja os níveis desejáveis de desinfecção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem dos aspectos químicos e físicos da disposição do lodo de ETE na agricultura reafirma a importância do conhecimento técnico científico e sua interdisciplinaridade, em razão da alta complexidade e interação dos fatores envolvidos no processo que vão desde a geração do lodo, higienização com cal virgem, preparo do solo, formas e quantidades de aplicação, mineralização da matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes e resposta à aplicação de lodo em cultivos agrícolas.

A utilização do lodo de ETE, como fonte alternativa de matéria orgânica e nutrientes, se traduz na inovação tecnológica da disposição do lodo de ETE, dentro de critérios técnicos, que, de forma segura, auxiliam no processo de tomada de decisão para o uso de um insumo agrícola de alto potencial, com indicações favoráveis na melhoria das características físicas e químicas do solo, atendendo às exigências legais para a preservação do meio ambiente.

