

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
Curso de Especialização em Gerenciamento Ambiental

**Normatização do uso de efluentes e lodos na agricultura no Estado de
São Paulo: cenário atual e perspectivas**

André Perandin de Melo

Monografia elaborada como
requisito para conclusão do
Curso de Especialização em
Gerenciamento Ambiental da
Escola Superior de
Agricultura Luiz de Queiroz–
ESALQ/USP

Orientador: MSc. Alessandro Cesarino

Piracicaba - SP

2016

Agradecimentos

À Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, pela oportunidade e confiança em mim depositada.

Ao meu amigo e orientador Alessandro Cesarino, primeiramente pela amizade e também por orientar este trabalho.

Aos amigos feitos dentro da sala de aula do CEGEA, que tornaram as sextas feira e sábados de aula mais interessantes.

À minha noiva Ana Paula, pela compreensão e carinho que sempre manteve.

Aos professores, por se empenharem tanto para transmitir seus conhecimentos.

RESUMO

A destinação para fins de fertirrigação dos efluentes e lodos provenientes das atividades envolvendo o setor agrícola, fez com que a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo criasse normas específicas para orientar esta prática de maneira a se evitar a degradação ambiental. Este trabalho tem por objetivo expor quais são as exigências contidas nas Normas paulistas, e apontar complementações que poderiam ser levadas em consideração para o uso ambientalmente viável de efluentes e lodos na agricultura. Levou-se em consideração a caracterização do efluente ou lodo a ser aplicado, a caracterização dos solos e águas subterrâneas que receberão a aplicação, as áreas protegidas e áreas restritas, as culturas aptas, a taxa de aplicação e monitoramentos ambientais. Apesar da Normatização ser um grande avanço, nota-se que as mesmas não seguem um padrão, e que certos aspectos ambientais precisam ser atualizados ou complementados.

Palavras chave: Fertirrigação, Contaminação, Solo, Água Subterrânea, Fertilizante, Vinhaça, Cítrica, Esgoto, Curtume.

Sumário

1. Introdução	7
2. Revisão Bibliográfica	9
2.1 Caracterização do efluente/lodo.....	11
P 4.230 Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação – Manual técnico.....	11
P 4.231 Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – 3ª Edição Fevereiro de 2015 – 2ª versão	14
P 4.233 Lodos de curtumes – critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico.....	14
P 4.002 Efluentes e lodos fluidos de industrias cítricas – Critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola	16
2.2 Caracterização dos solos	23
P 4.230 Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação – Manual técnico.....	23
P 4.231 Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – 3ª Edição Fevereiro de 2015 – 2ª versão	24
P 4.233 Lodos de curtumes – critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico.....	26
P 4.002 Efluentes e lodos fluidos de industrias cítricas – Critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola	26
2.3 Caracterização das Águas Subterrâneas	28
P 4.230 Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação – Manual técnico.....	29
P 4.231 Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – 3ª Edição Fevereiro de 2015 – 2ª versão	29
P 4.233 Lodos de curtumes – critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico.....	31
P 4.002 Efluentes e lodos fluidos de industrias cítricas – Critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola	31
2.4 Áreas protegidas e áreas restritas	33

P 4.230 Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação – Manual técnico.....	33
P 4.231 Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – 3ª Edição Fevereiro de 2015 – 2ª versão	34
P 4.233 Lodos de curtumes – critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico.....	34
P 4.002 Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas – Critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola	35
2.5 Culturas aptas	37
P 4.230 Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação – Manual técnico.....	37
P 4.231 Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – 3ª Edição Fevereiro de 2015 – 2ª versão	38
P 4.233 Lodos de curtumes – critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico.....	38
P 4.002 Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas – Critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola	38
2.6 Taxa de aplicação.....	39
P 4.230 Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação – Manual técnico.....	39
P 4.231 Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – 3ª Edição Fevereiro de 2015 – 2ª versão	41
P 4.233 Lodos de curtumes – critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico.....	42
P 4.002 Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas – Critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola	43
2.7 Monitoramento	45
P 4.230 Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação – Manual técnico.....	45
P 4.231 Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – 3ª Edição Fevereiro de 2015 – 2ª versão	46

P 4.233 Lodos de curtumes – critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico.....	47
P 4.002 Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas – Critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola	48
3. Discussão.....	51
4. Conclusão	56
5. Perspectivas futuras.....	57
6. Referências bibliográficas	58

1. Introdução

O Banco Mundial estima que em 2014 a população mundial era aproximadamente 7,26 bilhões de pessoas, caso acompanhe o seu padrão histórico de crescimento (1,2% a.a.) este número pode ser de 8 bilhões de pessoas no ano de 2022. Este constante crescimento associado à diversidade de alimentos consumidos nas diferentes regiões do planeta, exige que a agricultura se renove a cada momento e seja capaz de fornecer alimentos a todos sem deixar de lado as questões ambientais envolvidas em todo o processo produtivo.

Para que as plantas consigam expressar o seu máximo potencial produtivo, o ambiente em que ela está se desenvolvendo deve ser equilibrado e proporcionar níveis adequados de água e nutrientes em cada estágio de seu crescimento. No entanto, a disponibilidade de água de qualidade e em quantidade adequada para produção seja de alimentos ou de outros bens, é cada vez mais restrita, uma vez que os fatores que regulam esta situação estão diretamente correlacionados com a sustentabilidade ambiental da região onde se encontram os mananciais (BRAGA e LIMA, 2014).

Diante da necessidade de se estabelecer regras para o uso das águas, a Lei Federal Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. O artigo 1º explana os fundamentos nos quais foi baseada a política, são eles:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Chama a atenção com relação à discussão deste trabalho, os itens II e III, pois os efluentes podem diminuir ou até mesmo substituir os recursos hídricos que seriam

destinados às lavouras, para algum outro uso mais nobre, por exemplo, assim como MENDES, 2009 analisa em seu trabalho:

“As águas de qualidade inferior, como esgotos de origem doméstica, águas de drenagem agrícola e águas salobras, devem sempre que possível, ser consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento, se constitui hoje, em conjunção com a melhoria a eficiência do uso e controle da demanda, na estratégica básica para a solução do problema da falta universal de água.”

Concomitantemente a isso, a questão dos fertilizantes minerais, imprescindíveis para a agricultura, é outro fator preocupante, pois nutrientes essenciais como o potássio, são provenientes de jazidas minerais que possuem prazo de validade (recursos finitos), além de causarem uma série de impactos ambientais locais quando de sua exploração.

Pesquisadores têm apontado o uso de efluentes e lodos diversos como uma alternativa viável, tanto para o incremento de água e nutrientes na agricultura, como para a não emissão dos mesmos nos corpos d'água, que hoje é regulamentada pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, apesar disso, a sua aplicação em solo agrícola também pode causar impactos ambientais significativos se a mesma for feita de maneira descontrolada e sem critérios. A erosão, sodificação e o acúmulo de metais pesados ou compostos orgânicos no solo e nas águas subterrâneas são alguns exemplos dos danos que podem ser gerados com esta prática.

Devido à importância do tema, seja do ponto de vista econômico ou ambiental, uma série de legislações e referências foram publicadas e revisadas, porém, tais documentos, em sua maioria, são para tipos específicos de efluentes que já possuem vocação confirmada para este uso.

O presente trabalho tem por objetivo expor quais são as exigências das Normas CETESB P4.230, P4.231, P4.233 e P4.002 em vigor no Estado de São Paulo, e apontar complementações nas mesmas que poderiam ser levadas em consideração, para o uso ambientalmente viável de efluentes e lodos na agricultura. Este trabalho dá luz aos aspectos relacionados à caracterização do efluente, caracterização dos solo, caracterização das águas subterrâneas, áreas protegidas e áreas restritas, culturas aptas, taxa de aplicação e monitoramento.

2. Revisão Bibliográfica

Além das Normas CETESB que serão abordadas neste capítulo, podemos destacar outras duas legislações pertinentes ao assunto; a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº375 de 29 de agosto de 2006, que 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, e a Decisão de Diretoria da CETESB nº388/2010/P que trata da aprovação de premissas e diretrizes para a aplicação de resíduos e efluentes em solo agrícola no Estado de São Paulo.

Cabe salientar que em atendimento ao Decreto Nº 4.954/2004 e suas alterações (Decreto Nº 8.059/2013 e Decreto Nº 8.384/2014), compete ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) a inspeção e fiscalização da produção, importação, exportação e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes, incluindo a concessão dos registros de produto e de estabelecimento ou das autorizações para comercialização de material secundário, para seu uso direto na agricultura ou para seu uso como matéria-prima na fabricação de produtos. No caso dos efluentes e lodos utilizados na agricultura, estes também carecem de autorização de seu uso na agricultura por parte do MAPA, entretanto, suas aplicações também são avaliadas do ponto de vista ambiental pela CETESB.

De acordo com a Decisão de Diretoria Nº 388/2010/P supracitada, a aplicação em solo agrícola de resíduos que possuam registro do MAPA como fertilizante não depende de manifestação da CETESB, uma vez que esses resíduos são enquadrados como produto agronômico.

Por sua vez, quando o resíduo é dispensado de registro do MAPA, sendo objeto de autorização para comercialização, a sua destinação para aplicação no solo deve atender do ponto de vista ambiental ao disposto no Decreto Estadual Nº 8468/1976, o qual aprova o Regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente. O Decreto supracitado, no seu Título IV - Da Poluição do Solo, estabelece que:

- Art. 52 - O solo somente poderá ser utilizado para destino final de resíduos de qualquer natureza, desde que sua disposição seja feita de forma adequada, estabelecida em projetos específicos de transporte e destino final, ficando vedada a simples descarga ou depósito, seja em propriedade pública ou particular.

- Art. 53 - Os resíduos de qualquer natureza, portadores de patógenos, ou de alta toxicidade, bem como inflamáveis, explosivos, radioativos e outros prejudiciais, a

critério da CETESB, deverão sofrer, antes de sua disposição final no solo, tratamento e/ou condicionamento, adequados, fixados em projetos específicos, que atendam aos requisitos de proteção de meio ambiente.

- Art. 54 - Ficam sujeitos à aprovação da CETESB os projetos mencionados nos artigos 52 e 53, bem como a fiscalização de sua implantação, operação e manutenção.

Sendo assim, resíduos que não são passíveis de serem comercializados como produto registrado junto ao MAPA, caso sua destinação seja para uso agrícola, deverá ser objeto de projeto específico, em atendimento à legislação estadual, a ser analisado e aprovado pela CETESB. Considera-se ainda que a análise da viabilidade ambiental do uso agrícola em questão é feita para cada área de aplicação e para cada resíduo.

2.1 Caracterização do efluente/lodo

O requisito básico para a utilização de qualquer efluente ou lodo na forma de fertirrigação, na agricultura, é a comprovação do benefício agrônomo às culturas, este efluente deve trazer em sua composição macronutrientes e/ou micronutrientes essenciais, porém, de nada adianta, do ponto de vista agrônomo, este efluente possuir características benéficas, mas trazer consigo elementos nocivos que comprometam o bom desenvolvimento das plantas. Além disso, este efluente não pode modificar o ambiente solo e águas subterrâneas, suas composições químicas, físicas e biológicas devem ser mantidas em equilíbrio. Portanto, quando se pensa em utilizar efluentes para fertirrigação o primeiro passo a ser dado, seria a caracterização do mesmo, tanto quantitativa como qualitativamente. Conhecendo o potencial e as restrições do material, a sua viabilidade pode ser analisada com segurança de maneira a englobar todas as características agrônomicas e ambientais importantes.

Os efluentes e lodos gerados nos processos são distintos dos resíduos sólidos e, portanto, são passíveis de utilização em solo agrícola, dado o benefício agrícola. Segundo definição da Lei Federal 12.305/2010 que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, Resíduos Sólidos são materiais, substâncias, objetos ou bens descartados resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

P 4.230 Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação – Manual técnico

Primeiramente, a Norma não se aplica aos lodos de tanques sépticos, resíduos do processo de gradeamento, resíduos de caixa de areia e lodos contendo Bifenilas Policloradas (PCBs), dioxinas e furanos. Cita-se que há necessidade de se avaliar a presença de tais substâncias, compete ao CETESB, considerando a origem do lodo e análise da viabilidade de sua utilização na agricultura.

A caracterização deve ser baseada nos resultados analíticos de, no mínimo, três amostras de lodo compostas, coletadas em datas distintas, de modo a representar as características de variabilidade do lodo. O procedimento de amostragem deve

obedecer a Norma Brasileira (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) nº10.007 - Amostragem de Resíduos, válida a partir de 30 de novembro de 2004.

Com relação aos parâmetros químicos e microbiológicos a serem analisados, a Norma apresenta o Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 Relação dos parâmetros para caracterização química e microbiológica do lodo

Carbono orgânico	Arsênio
Fósforo	Cádmio
Nitrogênio amoniacal	Chumbo
Nitrogênio nitrato/nitrito	Cobre
Nitrogênio total ou Nitrogênio Kjeldahl	Cromo total
pH	Mercúrio
Potássio	Molibdênio
Sódio	Níquel
Umidade	Selênio
Número Mais Provável (NMP) de <i>Salmonella sp</i>	Sólidos voláteis
Número Mais Provável (NMP) de coliformes fecais	Zinco

Quando o lodo passar por um processo de tratamento de redução de patógenos que seja aprovado pela CETESB, e apresentar coliformes fecais abaixo de 10^3 NMP/g de sólidos totais e *Salmonella sp* abaixo de 3 NMP/4g de sólidos totais, ele será considerado como classe A. Para o lodo ser considerado como classe B, o mesmo deve apresentar valores para coliformes fecais abaixo de 2×10^6 NMP/g de sólidos totais ou 2×10^6 Unidades Formadoras de Colônias (UFC)/g de sólidos totais.

Lodos que não atendem aos mínimos requisitos estabelecidos para a classe B, não são aceitos para aplicação em áreas agrícolas. As concentrações de referência e valores limites para os metais são estipulados de acordo com o Tabela 2.

Tabela 2. Concentrações limites de metais no lodo

Metal	Concentração máxima permitida no lodo (base seca) mg/kg
Arsênio	75
Cádmio	85
Cobre	4300
Chumbo	840
Mercúrio	57
Molibdênio	75
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	750

Além dos parâmetros supracitados se exige que durante os primeiros 24 meses de adaptação a esta Norma, a fração de mineralização do nitrogênio proveniente do lodo seja mensurada, para posterior cálculo do nitrogênio disponível.

Ainda, a caracterização do lodo quanto à persistência da matéria orgânica e mineralização do nitrogênio, quanto à toxicidade e quanto a elevação de pH do solo, são critérios específicos que lodos de origem industrial devem apresentar obrigatoriamente, com exceção da toxicidade que fica a critério da CETESB a necessidade ou não da apresentação.

A persistência da matéria orgânica deve apresentar uma eficiência de biodegradação superior a 30% na taxa de aplicação adotada.

Portanto, em suma a Norma P4.230 exclui lodos de tanques sépticos, resíduos de gradeamento, resíduos de caixas de areia e lodos contendo PCBs, dioxinas e furanos, para os lodos que não se enquadram nestes citados, ela define critérios para se classificar o lodo como classe A e classe B, restringindo lodos que não se enquadrem em tais classificações, além de estabelecer os metais a serem analisados e seus limites que podem estar presentes no mesmo.

P 4.231 Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – 3ª Edição Fevereiro de 2015 – 2ª versão

Para a caracterização da vinhaça, a norma estabelece que ao menos duas amostragens devem ser realizadas no local de geração, durante a safra anterior à apresentação do Plano de Aplicação de Vinhaça (PAV), como definido pela CETESB. Os parâmetros a serem analisados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 Parâmetros para caracterização da vinhaça

pH	Cálcio (mg Ca/L)
Nitrogênio nitrato (mg N/L)	Potássio (mg K/L)
Nitrogênio nitrito (mg N/L)	Sulfato (mg SO ₄ /L)
Nitrogênio amoniacal (mg N/L)	Fósforo total (mg P/L)
Nitrogênio kjeldahl (mg N/L)	Cloreto (mg Cl/L)
Sódio (mg Na/L)	

Apesar de serem estipuladas as substâncias a serem analisadas para caracterização da vinhaça, a norma não apresenta valores de referência e nem concentrações máximas aceitáveis dos elementos.

A norma ainda estabelece que outras substâncias poderão ser adicionadas a critério da CETESB. Também fica condicionada ao órgão ambiental, a prévia autorização para incorporação de outras águas residuárias à vinhaça.

P 4.233 Lodos de curtumes – critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico

Inicialmente, a norma esclarece que os lodos dos banhos de curtimento e recurtimento com o metal cromo, e aqueles provenientes de sistemas de decantação primária de curtumes que não efetuem segregação dos banhos que contenham cromo, não poderão ser aplicados em áreas de uso agrícola, pois estes lodos possuem características de inibição da degradação da matéria orgânica e não proporcionam benefício agrônômico que justifique tal aplicação.

Atendendo o descrito acima, o lodo deve ser caracterizado conforme a ABNT, NBR 10.007 – Amostragem de resíduos, com no mínimo três campanhas de amostragem com amostras compostas e efetuadas em datas distintas, levando em consideração variabilidade esperada em sua geração.

Os parâmetros a serem analisados são os apresentados no Tabela 4 no entanto, considerando as peculiaridades do processo produtivo podem ser solicitados outros parâmetros.

Tabela 4. Relação dos parâmetros para análise do lodo

Cálcio	pH
Carbono orgânico total	Potássio
Cromo total	Sódio total
Fósforo	Sólidos voláteis (%) base seca
Magnésio	Umidade
Número mais provável (NMP) de coliformes fecais	Número mais provável (NMP) de <i>Salmonella sp</i>
Nitrogênio nitrato/nitrito	Nitrogênio amoniacal
Nitrogênio total ou kjeldahl	

Esta norma diferencia os lodos da mesma forma/modo como a Norma P 4.230 quando estes possuem microrganismos patógenos, ou seja, quando o lodo for submetido a um processo de tratamento de redução de patógenos que seja aprovado pela CETESB, e apresentar coliformes fecais abaixo de 10^3 NMP/g de sólidos totais e *Salmonella sp* abaixo de 3 NMP/4g de sólidos totais, ele será considerado como classe A. Para o lodo ser considerado como classe B, o mesmo deve apresentar valores para coliformes fecais abaixo de 2×10^6 NMP/g de sólidos totais ou 2×10^6 Unidades Formadoras de Colônias (UFC)/g de sólidos totais.

No entanto, a norma para aplicação de lodo de curtumes também considera que os materiais provenientes do tratamento de efluentes de curtume que não contenham despejos líquidos sanitários, ou seja, que não estejam contaminados com microrganismos patogênicos e onde não se detectou a presença desses na caracterização, podem ser dispensados de tratamento para redução de patogênicos.

Lodos que não atendem aos mínimos requisitos estabelecidos na Norma para a classe B, não são aceitos para fins de fertirrigação de áreas agrícolas.

Além dos parâmetros acima, a norma exige do interessado em aplicar lodos de curtume no solo agrícola, a apresentação do resultado de um ensaio para determinação da fração mineralizável do nitrogênio no lodo, tendo em vista justificar a

frequência e taxa de aplicação propostas. No entanto, alternativamente, durante o período de realização do ensaio, pode ser adotado o valor de 35% para a taxa de mineralização, valor esse baseado em ensaios realizados com lodo de caleiro sem cromo (AQUINO NETO, V., 1998).

P 4.002 Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas – Critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola

A norma estabelece exigências específicas para a caracterização tanto do efluente como do lodo.

Efluentes

Para a caracterização do efluente devem ser feitas no mínimo três campanhas de amostragens da matriz, início, meio e final de safra, sendo que cada campanha deve ser realizada por meio de coleta de uma amostra composta no período de 24 horas com alíquotas proporcionais à vazão, gerada na indústria, e coletadas a cada hora.

Nestas campanhas devem ser mensurados em campo a condutividade elétrica, pH, temperatura do efluente e do ar e vazão de efluente no momento da coleta de cada alíquota, além de ser necessário determinar o resíduo sedimentável em, no mínimo, duas alíquotas de cada amostra.

Em laboratório deverão ser analisados os parâmetros descritos no Tabela 5.

Tabela 5. Relação dos parâmetros para caracterização do efluente

Nitrogênio Kjeldahl	Sulfeto
Nitrogênio amoniacal	Sulfato
Nitrogênio nitrato/nitrito	Cloreto
Alumínio	Fósforo total
Sódio	Ferro
Cálcio	Zinco
Potássio	Manganês
Magnésio	Cobre
Bário	Cádmio
Boro	Chumbo
Fluoreto	Crômio
Carbono orgânico total	Mercúrio

A condutividade elétrica máxima aceitável para o efluente, segundo a Norma, é de 2,9 dS/m (expresso à temperatura referência de 25°C), pois acima disso o efluente pode conter elevada concentração de sais que poderiam acarretar um processo de salinização do solo. Caso a condutividade fique entre 0,75 e 2,9 dS/m, este efluente somente poderá ser aplicado em solos bem drenados e em que as espécies a serem cultivadas apresentem alta tolerância salina.

Outra condicionante calculada a partir da caracterização do efluente é a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), que não pode ultrapassar o valor de 12 e é calculada da seguinte maneira:

$$\text{Fórmula 1: } \text{RAS} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) / 2]^{0,5}$$

Onde, as concentrações de Na⁺ (sódio), Ca⁺⁺ (cálcio) e Mg⁺⁺ (magnésio) são expressas em mmol/L.

Mesmo a RAS estando abaixo de 12, ela ainda deve manter uma correlação com a condutividade elétrica do efluente conforme Tabela 6.

Tabela 6. Relação entre RAS e condutividade elétrica do efluente

RAS	Condutividade Elétrica dS/m	
	mínima	máxima
0 – 3	0,2	2,9
3 – 6	1,2	2,9
6 – 12	1,9	2,9

Além das exigências descritas acima, a Norma ainda estabelece concentrações médias máximas anuais permitidas de substâncias inorgânicas no efluente a ser aplicado, apresentadas na Tabela 7

Tabela 7. Concentrações médias máximas anuais permitidas de substâncias inorgânicas no efluente

Substâncias	Concentração em mg/L
Boro	0,5
Cádmio	0,01
Chumbo	0,5*
Cloreto	100-700**
Cobre	0,2
Crômio	0,1
Fluoreto	1,0***
Mercúrio	0,002
Níquel	0,2
Zinco	2,0
Nitrogênio nitrato	10****
Sódio	69,0***

*artigo 18 do regulamento da Lei 997/76, aprovado pelo Decreto 8468/76.

**depende da tolerância da cultura cultivada na área de aplicação e das condições climatológicas no momento da aplicação.

***Efluentes com concentrações acima desses limites somente serão aceitos para aplicação desde que seja apresentado parecer conclusivo, de instituição oficial ou credenciada de pesquisa ou Termo de Responsabilidade de profissional habilitado, sobre a viabilidade agrícola de seu uso.

****Para aplicação de efluentes com concentração de nitrogênio nitrato (N-NO₃) acima de 10 mg/L, deve ser feito o cálculo da taxa de aplicação em função do nitrogênio disponível (N_{disp})

Lodos

Já o lodo proveniente da indústria cítrica, também deve ser analisado por três amostras compostas coletadas em datas diferentes, porém, deve seguir a Norma ABNT, NBR 10.007 – Amostragem de resíduos. Os parâmetros a serem analisados no lodo são os descritos na Tabela 8

Tabela 8. Relação dos parâmetros para a caracterização do lodo

Nitrogênio Kjeldahl	Arsênio
Nitrogênio amoniacal	Bário
Nitrogênio nitrato/nitrito	Cádmio
pH	Chumbo
Potássio	Cobre
Sódio total	Crômio
Enxofre	Mercúrio
Cálcio	Níquel
Magnésio	Zinco
Teor de sólidos	

A Norma aponta as concentrações máximas permitidas de metais no lodo, como sendo as regulamentadas na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº375 de 29 de agosto de 2006, Tabela 2 da Seção III, Art. 11. As concentrações máximas são apresentadas na Tabela 9:

Tabela 9. Concentrações máximas permitidas no lodo (CONAMA 375)

Substâncias inorgânicas	Concentração máxima permitida (mg/kg em base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Crômio	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Efluentes sanitários

Foi estabelecido que se caso houver mistura do efluente sanitário (patógenos) com o efluente industrial ou então com o lodo, devem ser determinados coliformes termotolerantes e contagem de ovos de helmintos para o efluente industrial, e coliformes termotolerantes, contagem de ovos de helmintos e *Salmonellas* para o lodo. Os efluentes tratados devem atender aos limites microbiológicos constantes na Tabela 2 da “Orientação para apresentação de projeto visando à aplicação de água de reuso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura”, entretanto, não se encontra mais disponível tal orientação.

O efluente sanitário somente pode ser misturado ao efluente industrial bruto para aplicação na agricultura desde que sejam submetidos a tratamento prévio visando à redução de agentes patogênicos, no entanto, no caso das unidades industriais que possuam sistema de tratamento de águas residuárias, os efluentes sanitários podem, sem a necessidade de tratamento adicional, ser misturados aos efluentes industriais brutos para posterior aplicação do lodo na agricultura. Ou seja,

desde que o efluente sanitário também passe pelo sistema de tratamento de águas residuárias, este não necessita de tratamentos adicionais.

O lodo fluido gerado a partir do tratamento de efluentes brutos, contendo esgotos sanitários da unidade industrial deve atender aos requisitos mínimos de qualidade com relação à patogenicidade Coliformes Termotolerantes, Ovos Viáveis de Helmintos e *Salmonellas*, expressos com base no teor de sólidos secos, estabelecidos pela Tabela 3 da Seção III, Art. 11 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº375 de 29 de agosto de 2006, apresentados na Tabela 10 a seguir:

Tabela 10 Classes de lodo de esgoto e concentração de agentes patogênicos máximos permitidos

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de patógenos
A	Coliformes termotolerantes < 10^3 NMP/g de ST Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo/g de ST <i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST
B	Coliformes termotolerantes < 10^6 NMP/g de ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos/g de ST

2.2 Caracterização dos solos

Os solos são formados a partir do intemperismo de rochas que sofrem a ação de diversos fatores ligados ao relevo, clima e bioma presente no local ao longo do tempo, infinitas combinações destes fatores formam os mais variados solos, além disso, esta matriz ainda está em constante mudança devido aos mesmos fatores que continuam atuando sobre eles (TEIXEIRA, W et alii, 2000). Quando falamos em solos temos que levar em consideração não só a fase sólida, constituída pelos minerais e a fração de matéria orgânica adsorvida a mesma, mas também a solução do solo (fase líquida) e o ar (fase gasosa) contida nos interstícios da matriz, essas três fases em equilíbrio são fundamentais, pois, cada uma delas fornece elementos necessários ao desenvolvimento das culturas em áreas agrícolas. Conhecer minimamente a complexidade pedológica, bem como entender a interação com os meios físico, químico e biótico, é de suma importância tanto para o bom desenvolvimento da planta cultivada, a manutenção dos valores de fertilidade do mesmo, a manutenção da multifuncionalidade do solo e a qualidade das águas subterrâneas na área de aplicação (CESARINO, 2016, informação oral).

P 4.230 Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação – Manual técnico

Nesta Norma, não há exigências diretas para a caracterização do solo onde o lodo será aplicado, no entanto, os critérios a serem adotados para determinação da taxa de aplicação do lodo, permite supor que são necessários conhecimentos prévios da química do solo para a aplicação gerar um benefício agrônômico sem prejuízos ambientais e riscos inaceitáveis à saúde pública.

Sob o ponto de vista agrícola, a principal vantagem do uso de resíduos relaciona-se com o fornecimento de nutrientes neles contidos ou com benefícios ligados ao seu conteúdo orgânico, que pode manter, ou mesmo elevar, o teor de matéria orgânica do solo. Entretanto, na mesma proporção com que são enfatizadas as vantagens agrícolas, não se pode esquecer que, geralmente: (i) os nutrientes presentes nos resíduos estão em proporções desbalanceadas para a nutrição vegetal, (ii) não se conhece a eficiência do resíduo no fornecimento desses nutrientes e (iii) não se conhece qual a composição e quais as características do material orgânico contido no resíduo.

Além disso, existe, ainda, a possibilidade de elementos e/ou substâncias potencialmente tóxicas, orgânicas ou inorgânicas, estarem presentes nos resíduos. (PIRES A.M.M.; MATTIAZZO M.E., 2008)

Portanto, pode-se entender que para a caracterização química inicial do solo deve-se saber o pH e analisar quimicamente as concentrações de Nitrogênio disponível, além dos metais Arsênio, Cádmio, Cobre, Chumbo, Mercúrio, Níquel, Selênio e Zinco.

P 4.231 Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – 3ª Edição Fevereiro de 2015 – 2ª versão

A Norma separa a caracterização do solo em duas, a primeira se refere à qualidade ambiental do solo e a segunda refere-se à caracterização da fertilidade, abaixo está descrito o que cada uma delas solicita.

Qualidade ambiental do solo

Para a caracterização da qualidade ambiental dos solos que receberão a vinhaça, a norma solicita que as áreas de cultivo de cana de açúcar sejam subdivididas em no máximo dez parcelas homogêneas de até 100 hectares cada, considerando o tipo do solo, o histórico de aplicação de vinhaça e a posição do relevo.

Em cada uma dessas dez parcelas homogêneas, a norma pede que sejam selecionadas aleatoriamente três subparcelas de um hectare cada, e em cada subparcela coletar 30 subamostras de 0 a 20 cm aleatoriamente, para compor uma amostra. Ou seja, para cada parcela homogênea de solo serão retiradas três amostras, que irão totalizar no máximo 30 amostras de solo caso sejam definidas dez parcelas homogêneas.

A caracterização de qualidade do solo deve ser fundamentada nos Valores Orientadores para solo e águas subterrâneas no Estado de São Paulo, relacionados na Decisão de Diretoria nº 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014 (CETESB, 2014), os parâmetros a serem determinados nas amostras de solo estão apresentados na Tabela 11, e não podem ultrapassar os Valores de Prevenção (VP):

Tabela 11 Parâmetros para caracterização do solo para a aplicação de vinhaça

Antimônio (mg Sb/kg)	Mercurio (mg Hg/kg)
Arsênio (mg As/kg)	Molibdênio (mg Mo/kg)
Bário (mg Ba/kg)	Níquel (mg Ni/kg)
Cádmio (mg Cd/kg)	Selênio (mg Se/kg)
Chumbo (mg Pb/kg)	Zinco (mg Zn/kg)
Cobalto (mg Co/kg)	Varredura de VOC
Cobre (mg Cu/kg)	Varredura de SVOC
Cromo (mg Cr/kg)	

A Norma ainda cita que outros parâmetros relacionados à qualidade ambiental poderão ser solicitados a critério da CETESB. A caracterização em termos de qualidade, deve ser realizada uma vez antes da primeira aplicação, e as demais, a cada cinco anos durante o período de aplicação. Nas áreas que já tenham recebido aplicação de vinhaça, caso a concentração de qualquer elemento esteja acima dos VP, devem ser realizadas novas análises do solo e da vinhaça, para os parâmetros que ultrapassaram o VP. Ficando constatado que a aplicação de vinhaça é a causa da anomalia, a aplicação de vinhaça deverá ser suspensa.

Outra situação que pode ocorrer e também está descrita na norma, seria a identificação de concentrações acima do VP mesmo nos lugares onde ainda não houve aplicação de vinhaça, nestes casos a norma diz que fica a critério do órgão ambiental avaliar a viabilidade da aplicação ou não.

Fertilidade química do solo

Para a caracterização da fertilidade do solo, a norma estabelece que as amostras devem ser retiradas de parcelas homogêneas de no máximo 100 hectares cada, levando-se em consideração a classificação pedológica do solo e a posição no relevo.

Em cada uma destas parcelas homogêneas, a cada 10 hectares devem ser retiradas três amostras simples, que compõem uma amostra composta de toda a parcela. Portanto, uma amostra composta de uma parcela de 100 hectares é feita a partir de 30 amostras simples.

A Norma estabelece que a caracterização da fertilidade do solo, deve ser feita anualmente, antes do início da safra, as parcelas devem ter seus limites e centros

georreferenciados e apresentados em mapas, para o acompanhamento do histórico de aplicação. Na Tabela 12 são relacionados os parâmetros solicitados pela norma:

Tabela 12. Parâmetros para análise da fertilidade do solo

Alumínio trocável (mmol/dm ³)	Potássio (mmol/dm ³)
Cálcio (mmol/dm ³)	Matéria orgânica (g/dm ³)
Magnésio (mmol/dm ³)	CTC (mmol/dm ³)
Sódio (mmol/dm ³)	pH
Sulfato (mg/dm ³)	V% - Saturação por bases
Acidez (mmol/dm ³)	

P 4.233 Lodos de curtumes – critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico

É solicitado que sejam apresentados os resultados de análise textural dos solos das áreas, análise química padrão de fertilidade [pH, matéria orgânica, P, K, Ca, Mg, acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC) e porcentagem de saturação em bases (V%)]; além de cromo total, sódio trocável; resultado do cálculo da saturação em sódio em função do sódio trocável e condutividade elétrica. Tais análises devem ser realizadas em cada parcela que receberá a aplicação, e deve ser feita em amostras compostas de, no mínimo, 20 subamostras. Além disso, deve-se indicar, em planta, parcelas definidas para fins de caracterização e posterior monitoramento do solo, demarcando-as com base na uniformidade de manejo, homogeneidade do solo e a posição topográfica, não devendo cada parcela ultrapassar 20 hectares.

P 4.002 Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas – Critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola

A Norma estabelece que os solos das áreas pretendidas para aplicação de efluente e lodo fluido devem apresentar, para as substâncias químicas detectadas nestes resíduos, concentrações inferiores aos valores de prevenção estabelecidos pela Decisão de Diretoria nº 195-2005-E da CETESB, no entanto, estes valores foram atualizados pela Decisão de Diretoria nº 045/2014/E/C/I CETESB. Além destas substâncias, as concentrações de sódio das amostras coletadas até, no máximo, dois

(2) metros de profundidade e potássio trocáveis no solo não podem exceder seis por cento (6%) e cinco por cento (5%) da Capacidade de Troca Catiônica – CTC, respectivamente.

Para a amostragem, as áreas devem ser subdivididas em glebas homogêneas quanto à classificação pedológica do solo, posição no relevo e cobertura vegetal existente, limitando em, no máximo, 50 hectares cada gleba.

Em cada uma dessas glebas, deve-se coletar, no mínimo, quatro amostras georreferenciadas compostas, cada uma delas, de quatro subamostras, uma no centro de um círculo com raio de 10 metros e as outras 3 ao longo do perímetro, distanciadas cerca de 120 graus uma da outra. As coordenadas devem ser planas da projeção cartográfica UTM e respectivo fuso, para o datum horizontal SAD-69.

As amostras devem ser coletadas separadamente em, no mínimo, três profundidades equidistantes, sendo que a primeira deve ser de 0-20cm, e a sondagem para coleta das demais amostras deve aprofundar-se no mínimo 1,0m.

Deve-se analisar nas amostras coletadas o padrão de fertilidade de solo conforme rotina do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC): [pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC) e porcentagem de saturação em bases (V%)], incluindo Sódio trocável, sulfato, e condutividade elétrica e determinar a granulometria para classificação textural.

Também recomenda-se na Norma a determinação nas amostras coletadas das seguintes substâncias químicas apresentadas no Tabela 13:

Tabela 13 Substâncias químicas a serem analisadas no solo

Arsênio	Crômio
Bário	Mercúrio
Cádmio	Níquel
Chumbo	Selênio
Cobre	Zinco

2.3 Caracterização das Águas Subterrâneas

Estima-se que apenas 2,5% de toda a água do mundo seja potável e o restante águas salinas. De toda a água potável do mundo, 68,9% se encontra imobilizada na forma de gelo e neve permanente, 29,9% se encontra na forma de água subterrânea e apenas 0,3% se encontra na forma de rios e lagos. (SHIKLOMANOV, 1998).

Aquífero é um reservatório subterrâneo de água, caracterizado por camadas ou formações geológicas suficientemente permeáveis, capazes de armazenar e transmitir água em quantidades que possam ser aproveitadas como fonte de abastecimento para diferentes usos. Os aquíferos podem ser classificados quanto ao tipo de porosidade da rocha armazenadora em granular, fissural e cárstico. As rochas sedimentares (arenitos, siltitos etc.) e os sedimentos não consolidados (areias, cascalhos etc.) são constituídos de grãos minerais. A água percola e permanece, temporariamente, armazenada nos vazios entre os grãos. A porosidade, neste caso, é do tipo granular e o aquífero é classificado como granular. Como a porosidade está intimamente ligada ao tipo de rocha, o aquífero é, muitas vezes, denominado de aquífero sedimentar. (IRITANI M. A.; EZAKI, S., 2009).

Nota-se que as águas subterrâneas são importantes reservatórios de água doce para consumo humano, no estado de São Paulo cerca de 80% dos municípios são total ou parcialmente abastecidos com água subterrânea (CETESB, 2007), como exemplo podemos citar a cidade de Ribeirão Preto no interior do Estado de São Paulo, onde toda a água de abastecimento vem do Aquífero Guarani que é extraída através de poços tubulares profundos. Efluentes aplicados em áreas agrícolas a partir da superfície percolam o solo e conseqüentemente atingem às águas subterrâneas, mesmo em situações onde se tem o adequado controle da aplicação. Desta perspectiva, os contaminantes podem lixiviar atingindo os aquíferos e poluindo ou contaminando às águas subterrâneas. Os contaminantes são transportados de acordo com o caminhamento horizontal (advecção) e vertical (difusão) das águas subterrâneas, cuja velocidade varia de acordo com a granulometria dos materiais, dentre outros fatores. Conhecer a qualidade das águas subterrâneas do local, antes, durante e após o uso dos efluentes e lodos para fertirrigação, permite que anomalias químicas e físicas sejam detectadas a tempo de se cessar o aporte dos efluentes que podem agravar a situação ou ainda tomar ações que mitiguem um eventual impacto ao recurso hídrico subterrâneo.

P 4.230 Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação – Manual técnico

Assim como para a caracterização dos solos supracitada, a Norma não estabelece critérios para caracterização inicial das águas subterrâneas, no entanto, ela estabelece uma profundidade mínima para a zona vadosa de 1,2 metros na época da aplicação, independentemente do tipo de solo que será feita aplicação.

P 4.231 Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – 3ª Edição Fevereiro de 2015 – 2ª versão

Nas áreas onde ocorrem aplicações, a Norma estabelece que a profundidade do nível d'água do aquífero livre, no momento de aplicação de vinhaça, deve ser no mínimo de 1,50 metros, porém, não há informações de como deve ser identificada e comprovada essa profundidade.

Para a caracterização da qualidade das águas subterrâneas em áreas de aplicação e em áreas de armazenamento de vinhaça, é informado que a CETESB deveria estabelecer, em instrumento específico a ser editado em um prazo de seis meses, contados da publicação da mesma, a definição da metodologia para o monitoramento das áreas de aplicação de vinhaça. No entanto, este instrumento específico não foi publicado.

A definição dos locais consideraria resoluções da Secretaria do Meio Ambiente e demais normas que estabelecem regiões prioritárias para monitoramento e áreas especialmente sensíveis e suscetíveis no Estado de São Paulo, assim como os resultados de monitoramento da qualidade do solo e das águas subterrâneas efetuados. Tais poços de monitoramento deveriam ser implantados e operados pelo empreendedor ou responsável legal se a sua área de aplicação de vinhaça fosse selecionada pela CETESB. Os resultados do monitoramento deveriam ser apresentados em relatórios consolidados e interpretados. A CETESB avaliaria os resultados obtidos, podendo realizar auditorias, se considerasse necessário.

Ainda neste instrumento específico, deveria constar que os resultados analíticos deveriam ser comparados com os valores orientadores estabelecidos pela Decisão de Diretoria nº 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014 que trata dos valores orientadores para solo e água subterrânea no Estado de São Paulo (CETESB, 2014) e com os padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), e se fosse comprovada contaminação de águas subterrâneas decorrente da aplicação de vinhaça, esta deveria ser suspensa e deveriam ser

executadas, pelo Responsável Legal, as demais etapas previstas na Lei Estadual nº 13.577/2009 e no Decreto Estadual nº 59.263/2013, para definição das medidas de intervenção necessárias.

Já nas áreas onde a vinhaça fica armazenada, a norma determina que se deve instalar poços de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, em uma quantidade de, no mínimo, 4 poços de monitoramento, sendo um a montante e três imediatamente a jusante dos tanques, localizados de acordo com o mapa potenciométrico e construídos e amostrados conforme as normas NBR 15847 Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento - métodos de purga. Rio de Janeiro, 2010, NBR 15495-1 Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: projeto e construção. Rio de Janeiro, 2007 e 15495-2 Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 2: desenvolvimento. Rio de Janeiro, 2008.

É estabelecido que a implantação de drenos testemunha dispensa a instalação dos poços de monitoramento, porém, sem prejuízo do eventual monitoramento que poderia ser definido pela CETESB em instrumento específico já comentado acima.

Na água coletada dos poços de monitoramento devem ser determinados os parâmetros expostos na Tabela 14 e comparados aos valores orientadores estabelecidos na Decisão de Diretoria da CETESB nº 045/2014/E/C/I, de 20/02/2014 (CETESB, 2014) e com os padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria do Ministério da Saúde nº. 2.914, de 12 de dezembro de 2011 (BRASIL, 2011):

Tabela 14. Parâmetros a serem analisados na água subterrânea

pH	Cálcio (mg Ca/L)
Sulfato (mg SO ₄ /L)	Cloreto (mg Cl/L)
Nitrogênio nitrato (mg N/L)	Sódio (mg Na/L)
Nitrogênio nitrito (mg N/L)	Magnésio (mg Mg/L)
Nitrogênio amoniacal (mg N/L)	Fósforo Total (mg P/L)
Nitrogênio Kjeldhal (mg N/L)	Condutividade elétrica (µS/cm)
Potássio (mg K/L)	

P 4.233 Lodos de curtumes – critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico

Esta norma não solicita que seja feita a caracterização das águas subterrâneas das áreas onde será aplicado o lodo de curtume, ela estabelece apenas que a critério da CETESB, outros monitoramentos podem ser solicitados, incluindo o das águas subterrâneas.

P 4.002 Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas – Critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola

A norma P 4.002, diferentemente das demais já citadas, solicita a caracterização das águas subterrâneas nas áreas pretendidas para aplicação de efluente, onde se deve apresentar concentrações de nitrogênio nitrato, calculadas com base no 3º quartil dos resultados das análises químicas das amostras dos diferentes poços de monitoramento, inferiores a cinco (5) mg/L. Para as demais substâncias químicas, detectadas no efluente, as concentrações na água subterrânea devem ser inferiores aos respectivos valores de intervenção estabelecidos pela Decisão de Diretoria nº 0195-2005- E da CETESB, exceto alumínio, ferro e manganês.

O entendimento da Norma pressupõe a realização da avaliação da hidrogeoquímica do aquífero local, sendo que, a água subterrânea da porção mais rasa deverá ser amostrada em poços de monitoramento, a ser instalados. Tanto a instalação dos poços como a coleta deverão ser realizadas segundo as normas técnicas vigentes, podendo ser aceita a instalação dos poços de monitoramento por meio de métodos não permanentes.

O número de poços a serem instalados e das sondagens, suas localizações e a posição dos filtros dependerá da geologia e hidrogeologia local bem como do modelo conceitual desenvolvido para a área, devendo possibilitar a obtenção de informações representativas da qualidade da água antes e após o início das aplicações. As amostras devem ser caracterizadas para os parâmetros apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Substâncias químicas para análise da água subterrânea

pH	Cádmio	Manganês
Condutividade elétrica	Cálcio	Mercúrio
Dureza total	Chumbo	Nitrogênio Kjeldahl
Resíduo filtrável	Cloreto	Nitrogênio nitrato/nitrito
Sólidos totais dissolvidos	Crômio	Potássio
Carbono orgânico total	Ferro total	Sódio
Alumínio	Fósforo total	Sulfato
Arsênio	Fluoreto	
Boro	Magnésio	

As análises de águas subterrâneas devem ser feitas nas amostras íntegras, sem filtração ou qualquer outra alteração a não ser o uso de preservantes que, quando necessários devem seguir as normas técnicas vigentes, como por exemplo a Resolução da Secretaria do Meio Ambiente (SMA) nº 100 de 17 de outubro de 2013 , a Norma Brasileira (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) nº 17.025:2005 que trata dos requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração e a Norma Brasileira (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) nº 16.435:2015 que trata do controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas – Procedimento.

2.4 Áreas protegidas e áreas restritas

As áreas protegidas são locais que requerem atenção e cuidado especial em virtude de alguma função ou atributo específico, segundo a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), área protegida é definida como um espaço geográfico claramente definido e reconhecido, dedicado e gerenciado através de meios eficazes legais ou outros, para alcançar a conservação em longo prazo da natureza, seus ecossistemas associados e também seus valores culturais. Os efluentes diversos podem desequilibrar estes ecossistemas que costumam ser bastante sensíveis a fatores externos, portanto, deve-se respeitar uma distância mínima com relação a essas áreas.

Áreas agrícolas que possuem declividade mais acentuada e/ou solos arenosos são mais susceptíveis à ação da erosão, nestes casos, práticas conservacionistas ou até mesmo cessar a aplicação são essenciais para que não ocorra a desestruturação do solo e conseqüentemente, o carreamento de nutrientes e sais minerais para partes mais baixas do relevo ou corpos d'água. Assim como as chuvas e a irrigação convencional podem provocar as erosões, os efluentes também podem ocasionar problemas quando aplicados sem controle de seus volumes, ou então, quando a aplicação é concentrada em pequenas áreas.

P 4.230 Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação – Manual técnico

Esta norma especifica que a escolha do local onde será aplicado o lodo deverá levar em consideração a legislação vigente, em especial a Legislação Florestal. Além de limitar a aplicação de acordo com os seguintes itens:

- a) A declividade não deve ultrapassar dez por cento (10%) para áreas com aplicação superficial, 15% para aplicação superficial com incorporação por meio de gradagem ou subsoladores e 18% para aplicação subsuperficial;
- b) Manter zonas de proteção de modo a não causar incômodos à vizinhança pela emissão de odores e;
- c) Distâncias mínimas de 15 metros de vias de domínio público, 10 metros de drenos interceptores e diversores de águas superficiais de jusante e de trincheiras drenantes de águas subterrâneas e superficiais.

A quantidade de lodo a ser aplicada, facilidade de acesso durante o período de aplicação, proximidade de áreas residenciais, direção predominante dos ventos e aprovações e consentimento dos proprietários também devem ser levados em

consideração, além da profundidade mínima de 1,2 metros da zona vadosa na época de aplicação.

P 4.231 Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – 3ª Edição Fevereiro de 2015 – 2ª versão

A norma P4.231 proíbe que a vinhaça seja aplicada nas Áreas de Proteção Permanente (APP) e a seis metros distante delas, no entanto, nas Áreas de Proteção Ambiental (APA) desde que não haja proibição específica em seus regulamentos, a aplicação da vinhaça pode ser feita. Desde que não haja vedação a essa prática no plano de manejo da unidade, nas zonas de amortecimento de unidades de conservação de proteção integral, a aplicação também pode ser feita. Nos Perímetros de Proteção de Poços (PPP) regularmente definidos ou então a 100 metros de distância de poços de abastecimento, não podem receber aplicação de vinhaça, assim como as áreas de domínios de ferrovias e rodovias federais e estaduais.

Com relação aos núcleos populacionais, a aplicação deve estar afastada a pelo menos 1000 metros de distância, podendo essa ser estendida caso seja de entendimento da CETESB. As áreas com declividade superior a 15% devem ter medidas de segurança adequadas à prevenção da erosão. Outra restrição com relação às áreas de aplicação seria a profundidade do lençol freático no momento da aplicação, assim como já foi dito para a caracterização das águas subterrâneas, a profundidade do nível d'água do aquífero livre, no momento de aplicação de vinhaça, deve ser no mínimo de 1,50 metros, porém, não há informações na Norma, de como deve ser identificada e comprovada essa profundidade.

P 4.233 Lodos de curtumes – critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico

A Norma P 4.233 de curtumes, no quesito áreas protegidas e restritas, é muito semelhante à norma P 4.230 de lodos de estações de tratamento biológicos, é especificado que a escolha do local onde será aplicado o lodo deverá levar em consideração a legislação vigente, em especial a Legislação Florestal. Além de limitar a aplicação de acordo com os seguintes itens:

- a) A declividade não deve ultrapassar dez por cento (10%) para áreas com aplicação superficial, 15% para aplicação superficial com incorporação por meio de gradagem ou subsoladores e 18% para aplicação subsuperficial;

- b) Manter zonas de proteção de modo a não causar incômodos à vizinhança pela emissão de odores e;
- c) Distâncias mínimas de 15 metros de vias de domínio público, dez metros de drenos interceptores e diversores de águas superficiais de jusante e de trincheiras drenantes de águas subterrâneas e superficiais.

Os lodos de curtumes não podem ser aplicados quando a profundidade mínima da zona vadosa na época de aplicação for de 1,2 metros.

P 4.002 Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas – Critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola

A Norma define os efluentes como águas residuárias derivadas do processamento de frutas na agroindústria cítrica, contendo ou não esgotos sanitários, gerados exclusivamente dentro da unidade industrial, já o lodo fluido como um resíduo gerado no Sistema de Tratamento de Águas Residuárias da agroindústria cítrica, o qual apresenta umidade igual ou maior do que 85%. Obtido por processos de tratamento físico e biológico, capaz de separar, por sedimentação, a fase sólida.

As áreas que recebem a aplicação do efluente ou lodo proveniente da indústria cítrica, não pode estar contida no domínio das APPs e de Reserva Legal, que foram definidas no Código Florestal – Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, modificada pela Lei Federal nº 7.803, de julho de 1989, nem nos limites da zona de amortecimento definidos para as unidades de conservação de proteção integral.

No caso da área estar localizada no domínio de APA ou de Área de Proteção e Recuperação de Mananciais (APRM), a aplicação de efluentes e lodos fluidos não pode estar em desacordo com os seus regulamentos. No caso da área estar localizada no domínio de APA estadual não regulamentada, a aplicação de efluentes e lodos fluidos deve ser aprovada pelo seu órgão gestor. A aplicação não pode ser feita em áreas de domínio das ferrovias e rodovias federais ou estaduais, e no perímetro de proteção de poços ou no mínimo, 100 metros de poços de abastecimento.

Deve estar afastada, no mínimo, 500 metros do perímetro urbano ou de núcleos populacionais. Essa distância de afastamento pode, a critério da CETESB, ser ampliada quando as condições ambientais, incluindo as climáticas, exigirem. No caso de lodo, a área deve estar afastada num raio mínimo de 100 metros de residências, podendo esse limite ser ampliado, para garantir que não ocorram incômodos à vizinhança.

O local de aplicação deverá estar afastado, no mínimo, seis metros das APPs, e com proteção por terraços de segurança. Essa distância de afastamento pode, a critério da CETESB, ser ampliada quando as condições ambientais, incluindo as climáticas, exigirem. A profundidade do nível d'água do aquífero livre, medido no final da estação das chuvas deve ser, no mínimo, de 2 metros (AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W.,1994). A declividade máxima das áreas para aplicação de efluentes é de 15%, devendo ser adotadas sempre medidas de segurança adequadas à proteção contra erosão. Além disso, os locais de construção de tanques de armazenamento de efluentes devem distar 200 metros de coleções hídricas ou cursos d'água. As áreas para aplicação de efluentes não podem ser as mesmas para aplicação de lodo fluido.

2.5 Culturas aptas

A cultura que recebe efluente ou lodo deve ser escolhida considerando-se o tipo do efluente e seu tratamento antes da aplicação, por exemplo, segundo FERREIRA, A.C. *et al*, 1999, a presença de patógenos é indesejada nos lodos de esgoto, quer pelos riscos às pessoas que efetuam a sua manipulação, quer pela sobrevivência dos microrganismos patogênicos após sua aplicação e a contaminação das partes das culturas que mantém contato direto com o biossólido. Além disso, culturas que são consumidas *in natura* como por exemplo, hortaliças e olerícolas, devem ter uma maior restrição com relação ao uso dos efluentes e lodos, pois as mesmas podem ser um caminho para a contaminação de quem se alimenta delas.

Já os tipos de cultura que passam por processo industrial antes de se tornarem produtos, seja ele alimento ou não, podem ser considerados aptos a receberem altos volumes de efluentes não tratados como fertirrigação. Um exemplo deste tipo de cultura é a cana-de-açúcar, sendo boa parte dela transformada em combustível. Entre as culturas mais produzidas no Brasil, a cana-de-açúcar ocupa o terceiro lugar em relação à área plantada, ficando atrás da soja e do milho. A área cultivada que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2015/2016 está estimada em 8.955 mil hectares (CONAB, 2015).

P 4.230 Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação – Manual técnico

As culturas aptas a receberem o lodo são diferenciadas de acordo com a classificação do mesmo. Para os lodos classe A, a única restrição que é colocada é com relação a pastagens, estas não poderão utilizadas por pelo menos 30 dias após a aplicação do lodo. Já as áreas que receberão lodos classe B, além da exigência acima, não poderão receber;

- a) Por um período de quatorze meses após a aplicação, alimentos cuja parte consumida toque o lodo, como por exemplo melões, pepinos, hortaliças, etc, e;
- b) Por um período de trinta e oito meses após a aplicação se o lodo for incorporado ou nove meses após a aplicação se o lodo não for incorporado, alimentos cuja parte comestível fique abaixo da superfície do solo, como por exemplo, batatas, cenouras, rabanetes, etc.

P 4.231 Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – 3ª Edição Fevereiro de 2015 – 2ª versão

A norma não identifica quais culturas são aptas a receber a aplicação de vinhaça, no entanto, a Norma notoriamente aponta o uso da vinhaça para a fertirrigação da própria cultura da cana de açúcar, isso se nota no cálculo da dosagem da aplicação, onde se usa uma profundidade 0 a 80 cm, que é o perfil de solo onde se encontram as raízes da cana de açúcar.

P 4.233 Lodos de curtumes – critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico

Assim como para o subitem “áreas protegidas e restritas”, a norma P 4.233 é bastante semelhante à P 4.230 para as culturas aptas a receberem o lodo de curtume. No entanto, a norma para lodos de curtumes, não faz referências aos lodos caracterizados como classe A, dando a entender que este tipo de lodo pode ser aplicado em qualquer cultura. Já para os lodos considerados classe B não poderão receber;

- a) Por um período de quatorze meses após a aplicação, alimentos cuja parte consumida toque o lodo, como por exemplo melões, pepinos, hortaliças, etc, e
- b) Por um período de 38 meses após a aplicação se o lodo for incorporado ou nove meses após a aplicação se o lodo não for incorporado, alimentos cuja parte comestível fique abaixo da superfície do solo, como por exemplo batatas, cenouras, rabanetes, etc.

P 4.002 Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas – Critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola

A norma indica que quando houver a mistura de efluentes sanitários junto ao efluente ou lodo industrial, o efluente final somente poderá ser aplicado em: pomares, culturas que não são consumidas cruas, forrageiras (exceto para pastejo direto), áreas de reflorestamento e plantações florestais, exceto essa recomendação, não há mais nada sobre quais culturas podem ou não receber aplicações.

2.6 Taxa de aplicação

A taxa de aplicação, dentro do contexto deste trabalho, pode ser interpretada como o volume projetado de efluente ou lodo a ser aplicado no solo em um determinado espaço de tempo, levando-se em consideração a composição física, química e biológica tanto do efluente como do solo que receberá a aplicação, além das recomendações de adubação da cultura. Quando falamos em volume projetado não se leva em consideração a precipitação e a irrigação que porventura ocorra, tais variáveis precisam ser levadas em consideração no momento da aplicação para que não haja danos ambientais como a lixiviação de compostos para as águas subterrâneas e a erosão.

Como forma de proteger a cultura, solo e água subterrânea, leva-se em consideração para o cálculo da taxa de aplicação, a substância de interesse mais restritiva presente no efluente ou lodo.

P 4.230 Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação – Manual técnico

Em definição presente na própria Norma, é descrito que a taxa de aplicação é a quantidade projetada para a aplicação do lodo em toneladas (base seca) por hectare de solo. Nesta norma, adota-se o critério do menor valor encontrado para a escolha de como será feito o cálculo da taxa de aplicação, ou seja, todos os cálculos abaixo relacionados devem ser feitos, e o menor volume de lodo encontrado, é o que deverá ser utilizado. Para lodos de origem preponderantemente industrial podem ser incluídos limites para outros parâmetros que não especificados.

a) Taxa de aplicação em função do nitrogênio disponível (mg/kg)

É calculada pelo quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (kg/ha) e o teor de nitrogênio disponível no lodo (kg/t). A quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura pode ser encontrada no Boletim Técnico nº 100 (Rajj et alii, 1996) do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), já o nitrogênio disponível (NDisp) é calculado de duas maneiras diferentes, dependendo do tipo de aplicação que será realizada e das concentrações da substância no lodo, obtidas por meio de análises químicas da matriz.

Para aplicação superficial:

Fórmula 2:

$$N_{Disp} = (FM^*/100) \times (N \text{ Kjeldhal-N Amoniacal}) + 0,5 \times (N \text{ Amoniacal}) + (N \text{ Nitrato} + N \text{ Nitrito})$$

Para aplicação subsuperficial:

Fórmula 3:

$$N_{Disp} = (FM^*/100) \times (N \text{ Kjeldhal-N Amoniacal}) + (N \text{ Amoniacal}) + (N \text{ Nitrato} + N \text{ Nitrito})$$

*Fração de mineralização

b) Taxa de aplicação em função do teor de metais

A aplicação pode ser regida em função da carga máxima de determinado metal durante o período de um ano, de acordo com a seguinte Tabela 16.

Tabela 16. Taxa de aplicação anual máxima de metais em solos agrícolas tratados com lodos

Metal	Taxa de aplicação anual máxima (kg/ha/período de 365 dias)
Arsênio	2,0
Cádmio	1,9
Cobre	75
Chumbo	15
Mercúrio	0,85
Níquel	21
Selênio	5,0
Zinco	140

c) Taxa de aplicação em função da capacidade de elevação de pH do solo

A taxa de aplicação também pode ser determinada de acordo com a capacidade que o lodo possui em corrigir a acidez do solo. A própria Norma descreve um teste de bancada que deve ser feito com a mistura do solo que receberá a aplicação e o lodo a ser aplicado, de maneira que o pH não exceda o valor de 7,0 (determinação em cloreto de cálcio).

d) Taxa de aplicação em função de outros nutrientes

Caso houver outros nutrientes de interesse presentes no lodo, desde que devidamente justificada, a taxa de aplicação pode ser embasada nestes.

e) Limites de acumulação de metais no solo

A taxa de aplicação em função das concentrações de metais no solo superficial e concentrações de metais presentes no lodo, não pode ser tal que exceda os valores limites estipulados pela própria norma e valores definidos pela CETESB. Apenas para o caso do cromo, a norma estabelece preliminarmente um valor limite de 500 mg/kg de solo, considerando Eikmann & Kloke, 1993.

Na Tabela 17 são apresentados os valores limites presentes na norma:

Tabela 17. Cargas cumulativas máximas permissíveis de metais pela aplicação de lodo em solos agrícolas

Metal	Carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo (kg/ha)
Arsênio	41
Cádmio	39
Cobre	1500
Chumbo	300
Mercúrio	17
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

P 4.231 Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – 3ª Edição Fevereiro de 2015 – 2ª versão

A dosagem de aplicação de vinhaça deve considerar o relevo e as necessidades da cultura, bem como, a profundidade e a fertilidade do solo, a concentração de potássio na vinhaça e a extração média desse elemento pela cultura, conforme a seguinte fórmula:

$$\text{Fórmula 4: } m^3 \text{ de vinhaça/ha} = [(0,05 \times \text{CTC} - k_s) \times 3744 + 185] / k_{vi}$$

onde:

0,05 = 5% da CTC

CTC = Capacidade de Troca Catiônica, expressa em cmolc/dm^3

k_s = concentração de potássio no solo, expresso em cmolc/dm^3

3744 = constante para transformar os resultados da análise de fertilidade, expressos em cmolc/dm^3 ou meq/100cm^3 , para kg de potássio em um volume de 1 hectare por 0,80 metros de profundidade.

185 = massa em kg, de óxido de potássio (K_2O) extraído pela cultura por hectare, por corte

k_{vi} = concentração de potássio na vinhaça, expressa em kg de óxido de potássio $\text{K}_2\text{O/m}^3$

Apesar da taxa de aplicação ser calculada de acordo com a fórmula acima, caso a concentração de potássio no solo exceder cinco por cento (5%) da CTC, empiricamente, a aplicação de vinhaça fica restrita à reposição desse nutriente em função da extração média pela cultura de cana de açúcar, que é de 185 kg de K_2O por hectare por corte.

P 4.233 Lodos de curtumes – critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico

Nesta Norma, adota-se o critério do menor valor encontrado para a escolha de como será feito o cálculo da taxa de aplicação, ou seja, todos os cálculos abaixo relacionados devem ser feitos, e o menor volume de lodo encontrado, é o que deverá ser utilizado:

a) Taxa de aplicação em função do nitrogênio disponível

Assim como para a norma P 4.230 que trata sobre lodos de tratamentos biológicos, a taxa de aplicação em função do nitrogênio disponível é calculada pelo quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (kg/ha) e o teor de nitrogênio disponível no lodo (kg/t). A quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura pode ser encontrada no Boletim Técnico nº 100 (Raij et alii, 1996) do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), já o nitrogênio disponível (NDisp) é calculado de duas maneiras diferentes, dependendo do tipo de aplicação que será realizada.

Para aplicação superficial:

Fórmula 5:

$$N_{Disp} = (FM^*/100) \times (N \text{ Kjeldhal-N Amoniacal}) + 0,5 \times (N \text{ Amoniacal}) + (N \text{ Nitrato} + N \text{ Nitrito})$$

Para aplicação subsuperficial:

Fórmula 6:

$$N_{Disp} = (FM^*/100) \times (N \text{ Kjeldhal-N Amoniacal}) + (N \text{ Amoniacal}) + (N \text{ Nitrato} + N \text{ Nitrito})$$

*Fração de mineralização

b) Taxa de aplicação em função do teor de sódio total

A taxa de aplicação em função do sódio é dada de acordo com a classificação textural do solo, caso ele seja classificado como arenoso ou silto arenoso a aplicação anual máxima que pode ser feita é de 400 kg de Na total/ha, se o solo for classificado como orgânico, siltoso, silto-argiloso ou argiloso, a aplicação passa anual do lodo passa ser de 1000 kg de Na total/ ha, considerando MINISTRY OF THE ENVIRONMENT; MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND RURAL AFFAIRS (1996) (Canadá).

c) Limites de acumulação de metais no solo

Apesar do título falar sobre acumulação dos metais no solo, a norma só especifica limites para o Cromo. Fica estabelecido que na camada de solo superficial, ou seja de 0 a 20 cm, o limite de cromo deve ser de 500 mg de Cr/Kg de solo, (EIKMANN, T.; KLOKE, A., 1993). Além deste limite estabelecido para o solo, a norma também limita a carga máxima acumulável (teórica) de cromo em 1000 kg de Cr/ha.

P 4.002 Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas – Critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola

A norma cita que a taxa de aplicação em função do nitrogênio deve atender às recomendações oficiais de adubação do Estado de São Paulo, considerando também eventuais fontes de nitrogênio adicionais ao efluente ou lodo fluido aplicado, como por exemplo, a adubação química.

Quando a aplicação for realizada com efluentes que tenham concentração de nitrogênio nitrato (N-NO₃) acima de 10 mg/L, deve ser feito o cálculo da taxa de aplicação em função do nitrogênio disponível (N_{disp}). A aplicação do efluente, em metros cúbicos por hectare, não deve exceder o quociente entre a quantidade de

nitrogênio recomendada para a cultura (em kg/ha) e a concentração de nitrogênio disponível no efluente (N_{disp} em kg/m³).

A aplicação de lodos fluidos, conforme definido na Norma, fica limitada a taxa máxima anual de 500 m³ por hectare, desde que o seu valor equivalente em sólidos secos não seja maior do que o valor calculado de acordo com a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) n° 375, de 29 de agosto de 2006:

A aplicação máxima anual de sólidos secos não deverá exceder o quociente entre quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (em kg/ha), segundo recomendação agrônômica oficial do Estado de São Paulo, e o teor de nitrogênio disponível no lodo fluido. O cálculo da taxa de aplicação máxima anual também deve levar em conta os resultados de ensaios de elevação de pH provocado pelo lodo fluido no solo predominante da região de aplicação, de modo a garantir que o pH final da mistura solo-lodo fluido não ultrapasse o limite de 7,0. Devem ser observados os limites de carga total acumulada teórica no solo quanto à aplicação de substâncias inorgânicas.

2.7 Monitoramento

Observar as condições ambientais dos solos e águas subterrâneas e superficiais iniciais, finais e ao longo do tempo em que foram expostos a algum fator externo, é de suma importância para atestar que não sofreram impactos negativos na sua qualidade ou estão dentro dos padrões legais estabelecidos. O monitoramento também é uma ferramenta essencial para tomada de decisões, identificando-se eficientemente qualquer alteração ambiental nos meios já citados ou então no próprio efluente ou lodo a ser aplicado, os envolvidos podem gerenciar ações para mitigar os impactos ou cessar a aplicação .

P 4.230 Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação – Manual técnico

Quanto ao monitoramento do solo, a norma estabelece que anualmente deve-se realizar amostragens para fins de fertilidade de acordo com a rotina do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), além da condutividade e um parâmetro indicador presente no lodo, que é escolhido de comum acordo com a CETESB.

Além da amostragem anual com vistas à fertilidade do solo, a cada cinco anos deve ser feita a determinação dos metais no perfil superficial do solo, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm. No entanto, se a taxa de aplicação escolhida for baseada nas concentrações de metais poluentes, ou a taxa acumulada teórica de metais alcançar 80% das concentrações apresentadas na Tabela 4, as determinações de metais passam a ser solicitadas anualmente, com o objetivo garantir a inexistência ou o menor impacto ambiental possível.

A frequência de monitoramento do lodo deve ser de acordo com o volume destinado à aplicação, caso seja menor que 1500 toneladas por ano (base seca) deve ser feita uma amostra composta a cada trimestre, caso o volume seja igual ou superior a este valor, a frequência passa a ser bimestral. As análises devem englobar metais, confirmação da redução de atratividade a vetores, redução de patógenos (se aplicável) e o nutriente de benefício agrônômico limitante da aplicação.

Nos casos onde a aplicação ocorre apenas uma vez ao ano, o monitoramento pode ser reduzido a uma amostragem antes da aplicação, no entanto, caso seja constatado pela CETESB que a variação dos constituintes do lodo seja alta, o mesmo pode requerer maior frequência de modo a gerar uma estimativa confiável dos componentes limitantes da taxa de aplicação do lodo. Caso qualquer constituinte limitante varie acentuadamente, esta deve documentada.

No Tabela 18 a seguir são apresentados os parâmetros mínimos para análise no lodo:

Tabela 18 Relação dos parâmetros para monitoramento do lodo

Carbono orgânico	Arsênio
Fósforo	Cádmio
Nitrogênio amoniacal	Chumbo
Nitrogênio nitrato/nitrito	Cobre
Nitrogênio total ou Nitrogênio Kjeldahl	Cromo total
pH	Mercúrio
Potássio	Molibdênio
Sódio	Níquel
Umidade	Selênio
Sólidos voláteis	Zinco

A Norma subdivide o assunto apresentando como monitorar o solo e o lodo durante as aplicações, no entanto, com relação às águas subterrâneas e superficiais ela estabelece que fica a critério da CETESB requerê-las.

P 4.231 Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – 3ª Edição Fevereiro de 2015 – 2ª versão

Na região dos tanques de armazenamento que não possuem drenos testemunho, o monitoramento das águas subterrâneas deve ser feito nos poços de monitoramento descritos na caracterização das águas subterrâneas, 1 a montante e no mínimo 3 a jusante da potencial fonte, e sua frequência deve ser anual, no período de setembro a novembro (período de estiagem).

Com relação ao monitoramento das águas subterrâneas das áreas de aplicação, ficou condicionado a CETESB criar instrumento específico para a definição da metodologia de monitoramento, do prazo para instalação desses poços e dos parâmetros a serem monitorados. A Norma não faz nenhuma menção à frequência de amostragem que deve ser seguida.

O monitoramento dos solos com relação à sua fertilidade deve ser feito anualmente antes do início do período da safra, e deve fundamentar o PAV que é apresentado à CETESB. Já o monitoramento da qualidade dos solos, deve ser feito a cada cinco anos nas áreas que receberam vinhaça. Ambos os monitoramentos, devem seguir o estipulado para a caracterização inicial, de modo que qualquer alteração nos resultados possam ser observados.

Não é abordada nesta norma o monitoramento de águas superficiais que por ventura possam ocorrer adjacentes às áreas de aplicação.

P 4.233 Lodos de curtumes – critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico

Quanto ao monitoramento do solo, a norma estabelece que anualmente deve-se realizar amostragens para fins de fertilidade de acordo com a rotina do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), além da condutividade elétrica, cromo total, sódio trocável e cálculo da saturação em sódio. Além da amostragem anual, a cada cinco anos deve ser feita a determinação do cromo e sódio trocável no perfil superficial do solo, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm.

A frequência de monitoramento do lodo deve ser de acordo com o volume destinado à aplicação, caso seja menor que 600 toneladas por ano (base seca) deve ser feita uma amostra composta a cada doze meses, caso o volume esteja entre 600 e 1200 toneladas por ano (base seca) deve ser feita uma amostra composta a cada seis meses, se a aplicação exceder 1200 toneladas por ano (base seca) uma amostra composta passa a ser solicitada a cada três meses. As análises devem englobar a presença de poluentes ou não, confirmação da redução de atratividade a vetores, redução de patógenos (se aplicável) e o nutriente de benefício agronômico limitante da aplicação.

No Tabela 19 são apresentados os parâmetros mínimos para análise no lodo:

Tabela 19. Relação dos parâmetros para monitoramento do lodo

Calcio	Nitrogênio total ou Kjeldahl
Carbono orgânico	pH
Cromo total	Potássio
Fósforo	Sódio total
Magnésio	Sólidos voláteis
Nitrogênio amoniacal	Umidade
Nitrogênio nitrato/nitrito	

A norma subdivide o assunto apresentando como monitorar o solo e o lodo durante as aplicações, no entanto, com relação às águas subterrâneas e superficiais ela estabelece que fica a critério da CETESB requerê-las.

P 4.002 Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas – Critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola

O monitoramento do efluente e lodo fluido provenientes da indústria cítrica, deve ser feito anualmente e realizado da mesma forma que é feita a caracterização inicial. Dessa forma, padronizam-se as amostras e é possível se fazer a comparação entre um ano e outro. Já os solos que recebem a aplicação, têm monitoramentos distintos dependendo de qual resíduo será utilizado, lodo ou o efluente. Caso o solo receba efluentes, o monitoramento deve ser semestral (início e final de safra) contemplando as análises padrões de fertilidade do solo conforme rotina do Instituto Agrônomo de Campinas, além do sódio trocável e condutividade elétrica. O monitoramento dos metais - arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, crômio, mercúrio, níquel e zinco deve ser feito a cada três anos ou então anualmente, caso os resultados obtidos, na caracterização da área ou no monitoramento, para qualquer uma das substâncias acima, apresentem concentrações igual ou superior a 80% do valor de prevenção publicados pela CETESB. Já as áreas que recebem lodos, o monitoramento deve ser da seguinte maneira:

O monitoramento dos parâmetros de fertilidade do solo deve ser realizado, no mínimo, a cada três ciclos anuais de aplicação, considerando a taxa máxima anual em cada ciclo, ou então, caso o lodo fluido tenha estabilização alcalina, deve ser realizado antes de cada aplicação.

O monitoramento das substâncias inorgânicas no solo deve ser realizado a cada aplicação, sempre que essas substâncias inorgânicas forem consideradas poluentes limitantes da taxa de aplicação, ou quando a carga acumulada teórica adicionada para qualquer uma das substâncias inorgânicas monitoradas alcançar 80% da carga acumulada teórica permitida, estabelecida na Tabela 4, do art. 17 da Resolução Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 375, de 29 de agosto de 2006, para verificar se as aplicações subsequentes são apropriadas. Caso não ocorra nenhum destes dois casos, o monitoramento deve ser feito a cada cinco ciclos anuais de aplicação, considerando a taxa anual permitida para cada ciclo, nas camadas de 0-20 e 20-40cm de profundidade do solo.

Ainda a norma solicita monitoramento adicional no caso de haver mistura de efluente líquido gerado no evaporador da fábrica de ração (águas pretas) nos efluentes líquidos a serem aplicados, nestes casos o solo deve ser monitorado a cada três ciclos anuais de aplicação, para os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs): Benzo(a)antraceno; Benzo(a)pireno; Benzo(k)fluoranteno; Indeno(1,2,3-c,d)pireno; Naftaleno; Fenantreno e os compostos organoclorados como o Lindano. Estes devem ser realizados e comparados aos valores orientadores de prevenção publicados pela CETESB, a fim de subsidiar o manejo da aplicação futura. Esta norma ainda estabelece uma rotina para o monitoramento das águas subterrâneas da seguinte maneira:

Deve ser realizado com frequência semestral (junho/julho e janeiro/fevereiro), no entorno de tanques de armazenamento de efluentes e nas áreas de aplicação dos efluentes, onde a profundidade do nível de água for inferior a 20 (vinte) metros, demonstrada por sondagens, analisando os mesmos parâmetros solicitados para a caracterização inicial. No entanto, nos tanques de armazenamento, a implantação de sistema de detecção de vazamento dispensa a instalação de poços de monitoramento no entorno destes.

Já o monitoramento das águas subterrâneas nas áreas de aplicação de lodo, deve ser executado quando acontecer alguma destas três situações; as concentrações de substâncias detectadas no monitoramento do solo forem iguais ou superiores aos valores de prevenção; a carga acumulada teórica adicionada ao solo, para qualquer uma das substâncias inorgânicas monitoradas, alcançar 100% da carga acumulada teórica permitida; ou quando a porcentagem de sódio na Capacidade de Troca Catiônica do solo alcançar 15%.

Os parâmetros a serem mensurados ou determinados em amostras de água subterrânea, independentemente do tipo de aplicação que for realizada, seja ela de lodo ou efluente, são os apresentados na Tabela 20.

Tabela 20. Parâmetros a serem analisados no monitoramento das águas subterrâneas.

Nível da água	Bário	Cloreto
pH	Boro	Fluoreto
Condutividade elétrica	Cádmio	Nitrogênio amoniacal
Dureza total	Cobre	Nitrogênio nitrito/nitrato
Resíduo filtrável	Crômio	Nitrogênio Kjeldahl
Sólidos totais dissolvidos	Mercúrio	Potássio
Turbidez	Cálcio	Sódio
Carbono orgânico total	Chumbo	Sulfato

Os resultados devem ser comparados com os resultados analíticos das amostras coletadas em poços de monitoramento de montante; e com os valores orientadores publicados pela CETESB.

Em função dos resultados históricos das campanhas de amostragens ou de eventuais mudanças de processo, a norma cita que a CETESB pode aceitar, desde que aprovadas as justificativas técnicas apresentadas pelo empreendedor, que as frequências de monitoramento sejam alteradas, bem como que parâmetros mensurados sejam suprimidos.

Por fim, a critério da CETESB, podem ser solicitadas análises específicas para outras substâncias, bem como a caracterização do efluente quanto aos aspectos de toxicidade, desde que justificados tecnicamente.

3. Discussão

Tendo em vista os subitens abordados na revisão bibliográfica, observa-se que as Normas de aplicação de efluentes e lodos na agricultura não possuem padronização, do ponto de vista da sequência lógica cada uma delas aborda caracterizações, monitoramentos dentre outras exigências técnicas de maneiras diferentes. Independentemente dos critérios técnicos de efluente, a caracterização dos mesmos devem seguir certa homogeneidade de critérios para que os mesmos possam ser comparados com outras tipologias semelhantes ou entre si para a melhor aferição da eficácia e eficiência da fertirrigação.

A adoção de traçadores químicos, como isótopos de Nitrogênio, alguns metais e a adoção de análises de varredura de Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs em inglês), Semivoláteis (SVOCs em inglês) por Cromatografia Gasosa/Espectrometria de Massa (GC/MS em inglês) ou Inorgânicos por Espectrofotômetro de Plasma Induzido por Argônio (ICP/OES em inglês) nas matrizes de interesse para se detectar águas residuárias que não tem vocação para o uso agrônômico adicionadas aos efluentes de interesse poderiam ser padronizados e introduzidos para todas as Normas em vigor e estudos a serem realizados para eventuais novos produtos a serem aplicados.

Segundo MAFRA, 1997, deve ser incorporado ao planejamento do uso do solo, o estudo da erosão, incluindo os fatores relacionados à atuação dos processos erosivos e à detecção das áreas mais susceptíveis (atual e potencial), com o objetivo de regular as ações sobre as mesmas, buscando uma incidência mínima de uso para evitar os prejuízos sobre as atividades humanas e sobre o meio ambiente. Desta forma, tal planejamento do uso do solo poderia ser incorporado às Normas de efluentes e lodos a partir de modelos geológicos e hidrogeológicos, juntamente com as características químicas do mesmo. A inclusão de ferramentas estatísticas na tomada de decisão, como por exemplo, o estabelecimento de amostragens multiincremento nos talhões poderiam ser apontadas nas Normas, para garantir maior segurança do ponto de vista ambiental das concentrações representativas bem como a mais adequada distribuição dos efluentes ou lodos na área de interesse.

As Normas ora analisadas objetivam fundamentalmente a avaliação da fertilidade do solo e não os aspectos ambientais importantes para o controle ambiental de fato, fazer a caracterização representativa do efluente; monitoramento de outras fontes de contaminação; avaliar os impactos no meio biótico e nas áreas que possuam restrição de aplicação e controlar a salinização do solo juntamente com o monitoramento da perda de estrutura do solo, são aspectos fundamentais que

deveriam ser comuns a todas as Normas que tratam deste assunto. O controle de dioxinas e furanos oriundos de processos de queimas em áreas agriculturáveis, por exemplo, não são considerados no monitoramento tanto no período anterior como posterior à aplicação dos efluentes e lodos. Além das exigências feitas em Norma, existe a necessidade de estudos de curto, médio e longo prazo para avaliação da qualidade ambiental nesses locais para que seja construído um histórico que detecte eventuais impactos crônicos que essas áreas possam estar sofrendo.

Nenhuma das Normas solicita que sejam avaliados parâmetros relacionados aos defensivos agrícolas que são utilizados nas culturas, esses compostos podem estar presentes nos efluentes. Haja visto que os produtos destas indústrias possuem rigoroso controle de qualidade para que não haja contaminação, os efluentes e lodos também deveriam passar por cuidadosa análise para se evitar a acumulação dos mesmos nas áreas produtivas, tanto nos solos como nas águas subterrâneas.

As propriedades físicas e características químicas do solo precisam ser conhecidas e delimitadas, de forma que possam propiciar aplicações de efluentes que levem a uma melhor produtividade sem prejudicar a fertilidade do solo e a qualidade das águas subterrâneas.

O conceito de vulnerabilidade dos aquíferos deve ser adicionado às discussões, uma vez que ele é considerado apenas na Norma de aplicação de vinhaça. Áreas onde a vulnerabilidade dos aquíferos é maior deveriam ser aplicadas práticas conservacionistas e/ou controle de características dos efluentes e lodos de forma associada à geologia e hidrogeologia, levando à maior preservação dos recursos hídricos subterrâneos.

Uma caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas, por meio dos seus íons maiores, menores e de outras substâncias químicas de interesse trariam grande contribuição na avaliação do quadro ambiental principalmente na preservação do recurso hídrico subterrâneo e nas interações entre as fases sólidas, líquidas e os efluentes aplicados.

Cabe fazer uma ponderação acerca das áreas de aplicação de efluentes e a quantidade de amostras coletadas. Via de regra, as Normas recomendam um número de amostras de qualidade ambiental desproporcional às áreas de aplicação e às coletadas para a avaliação da fertilidade do solo. Isso posto, tais estudos poderiam ser suplementados com ferramentas de informática associados a melhor caracterização geológica e hidrogeológica acima proposta. *Softwares* podem ser elaborados de forma

a estimar de maneira eficaz um número representativo de amostras tanto da qualidade ambiental como para a fertilidade do solo.

A definição de uma profundidade mínima para a aplicação de efluentes e lodos em cada área de aplicação, traria informações mais seguras quanto à minimização dos impactos nas águas subterrâneas. Deveriam ser realizados ensaios de bancada em colunas de solos simulando as condições onde seriam aplicados os efluentes e o nível d'água, com isto poderiam ser definidos os parâmetros de interesse para cada área. Na continuidade poderiam ser realizados estudo em escala local (ensaio piloto), de forma a avaliar in situ as condições reais de aplicação e testar os parâmetros obtidos em bancada. Tais estudos poderiam ser aplicados também na definição de benefício agrônômico de outros efluentes não definidos em Norma, por exemplo.

Nas Normas há uma relativa diversidade na definição das declividades necessárias a uma adequada aplicação dos efluentes. Não se observa uma justificativa coerente para tal variação. Assim, pode ser entendido que tais valores são empíricos e estão mais associados às culturas em si do que a aplicação dos efluentes. Desta forma, poderiam ser realizados estudos que corroborem ou não a necessidade da determinação destes valores em Normas. Em caso positivo, novas observações seriam necessárias para a determinação dos valores adequados.

Como contribuição às Normas e demais estudos sobre a aplicação de efluentes e lodos na agricultura, são necessários estudos sobre a geração de valores de referência para taxa de aplicação, o acúmulo de substâncias ao longo do perfil do solo (metais) e das cargas acumuladas em solo teóricas, de forma a serem gerados parâmetros de comparação factíveis tanto entre solos e culturas proporcionando controles para a tomada de decisão.

Um assunto recorrente quando se trata de aplicação de efluentes e lodos é o monitoramento dos solos e águas subterrâneas. Neste tema cabe uma série de discussões indefinidas sobre o tema como a definição de concentrações de referência (*background*) para efeito de comparação; substâncias químicas de interesse; profundidade de coleta; localização dos pontos de monitoramento; frequência e duração; monitoramento pós-aplicação dos efluentes; monitoramento após o encerramento da atividade; alteração da qualidade (poluição ou contaminação) e ações decorrentes; dentre outras. O fato inescapável é que não se tem informações sistematizadas e/ou cientificamente defensáveis sobre estes assuntos.

As investigações ambientais em fontes pontuais de contaminação, como os dutos de transporte e tanques de armazenamento de efluentes e os poços de

monitoramento que vêm sendo instalados nas áreas de aplicação podem e devem contribuir para elucidação destes assuntos. Cabe ressaltar que como citado acima os números de poços de monitoramento são em número não representativo das áreas de aplicação de efluentes. Desta forma, é necessária a adoção da tecnologia à melhoria na obtenção de informações de forma a otimizar os recursos materiais e a obtenção de informações. Um exemplo desta aplicação seria a aplicação de modelos geológicos e hidrogeológicos para a confecção de um mapa potenciométrico das águas subterrâneas nas áreas de aplicação e sua utilização na seleção de locais estratégicos para a instalação de poços de monitoramento representativos de sub-bacias hidrográficas.

Questões não menos importantes a serem consideradas são a origem difusa das contaminações, a variação das aplicações e das culturas ao longo do tempo e seus eventuais efeitos sinérgicos. Tais assuntos devem ser analisados, de forma que se possa gerar massa crítica sobre o tema e se possa incorporá-los às Normas de forma consensual.

O monitoramento dos efluentes e dos lodos para aplicação deveria ser representativo, pois os volumes de aplicação são de grande monta e o número de coletas por vezes não satisfazem a heterogeneidade do efluente ou lodo. No entanto, a definição destes valores depende de uma série de fatores como área de aplicação, volume gerado, sistema de produção, adição ou não de águas residuárias, forma de aplicação, substâncias químicas de interesse, etc.

Por último, mas não menos importante, as normas deveriam considerar concentrações de referência e/ou de *background* com vistas à prevenção de poluição ou contaminação dos solos e águas subterrânea, ações subsequentes (classificação de área contaminada sob investigação) e mecanismos de controle.

A despeito da proposta de revisão das Normas, segundo informações obtidas, o setor produtivo tem preterido a aplicação direta dos efluentes e lodos em favor da utilização dos materiais na produção de fertilizantes agrícolas podendo ou não ser compostados e aprovados pelo MAPA. Sendo transformado em produto, a sua aplicação não seria mais avaliada por órgãos de controle ambiental. Tal mudança de comportamento afetaria a revisão das Normas, entretanto, as ações ora propostas podem servir como orientador na avaliação ambiental da aplicação dos produtos nas áreas de interesse, uma vez que para a obtenção da aprovação como produto, o MAPA avalia apenas e tão somente o benefício agrônômico do efluente ou lodo. Alternativamente, os trabalhos ora propostos poderiam servir como roteiro de

avaliação de novos produtos a serem aplicados em solos como para fundamentarem os gestores ambientais na avaliação da eficácia e eficiência do produto agrícola.

4. Conclusão

De acordo com o observado e comparado nas Normas CETESB elaboradas para a aplicação de efluentes e lodo com fins agrícolas podemos concluir que:

- As Normas não possuem padronização principalmente no que se refere à caracterização e o monitoramento das dos efluentes e lodos, solos e águas superficiais e subterrâneas;
- Há a necessidade de revisão das Normas de forma que se defina uma homogeneidade de critérios para que os resultados possam ser comparados entre si e com outras tipologias semelhantes;
- O meio físico e as propriedades físico-químicas devem ser melhor avaliadas, pois serve de suporte tanto para o desenvolvimento vegetal como atenuante de eventual contaminação das águas subterrâneas;
- As ferramentas estatísticas, de informática e a melhor aquisição de informações são ferramentas chave para a melhor avaliação dos dados e observação da eficácia e eficiência da aplicação e do benefício agronômico;
- A fertilidade do solo é o objetivo fundamental das Normas em detrimento da avaliação da qualidade ambiental dos solos e das águas subterrâneas;
- Não são caracterizados e monitorados nos efluentes e lodos, os defensivos agrícolas utilizados nas culturas, resíduos e/ou outras águas residuárias adicionadas;
- A vulnerabilidade de aquíferos é um conceito que deve ser adicionado às Normas;
- No monitoramento da qualidade dos efluentes e lodos, solos e águas subterrâneas não se verifica a representatividade das matrizes e do número de amostras;
- É necessário desenvolver critérios de uma profundidade mínima de nível d'água, taxas de aplicação, de acúmulo de substâncias ao longo do perfil de solo, cargas acumuladas teóricas ao longo do perfil de solo e de declividades máximas aceitáveis para a aplicação dos efluentes e lodos, de forma a minimizar os impactos nas águas subterrâneas;
- O monitoramento dos solos e das águas subterrâneas não está equacionado nas Normas, cabendo a sua definição sob a forma de revisão;
- Não há consenso sobre as investigações em fontes pontuais e difusas de contaminação nas áreas de aplicação de efluentes e lodos;
- Não se estabeleceu uma metodologia para a obtenção de valores de background nas áreas de aplicação para posterior monitoramento;

5. Perspectivas futuras

O cenário delineado neste estudo permite vislumbrar perspectivas para a normatização da aplicação de efluentes e lodos no Estado de São Paulo:

- A necessidade de revisão das Normas CETESB existentes, de forma a dar equivalência nas tratativas sobre o assunto principalmente no que se refere à caracterização dos solos, efluentes e ao monitoramento antes, durante e ao final da aplicação;
- A sistematização de um procedimento ou requisitos mínimos necessários à avaliação de um projeto de aplicação de efluentes e lodos em geral nos solos;
- A realização de estudos de curto (ensaios de bancada), médio (estudo piloto) e longo prazo (áreas de aplicação) para a avaliação do efeito da aplicação dos efluentes nos meio físico e biótico, nas culturas de interesse, na eficácia e eficiência do processo e na quantificação do benefício agrônômico necessário à aplicação;
- O desenvolvimento de uma metodologia para o adequado monitoramento de efluentes e lodos, do solo e das águas subterrâneas bem como a avaliação de fontes difusas de contaminação nestas matrizes.

6. Referências bibliográficas

AQUINO NETO, V.; 1998. Avaliação do aproveitamento agrícola de lodos de curtume. Dissertação (Mestrado). ESALQ; Piracicaba, 122p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos. Segunda edição. Rio de Janeiro, 2004. 21p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15.495-1: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: projeto e construção. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 15.495-2: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 2: desenvolvimento. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15.847: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento - métodos de purga. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 17.025. Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro, 2005. Incorpora a Errata 1 de 24.07.2006 e a Errata 2 de 25.09.2006. Confirmada em 14.10.2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 16.435. Controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water Quality for Agriculture**. Rome: FAO, 1995. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 29 rev. 1) Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/t0234E00.htm>>. Acesso em: mar. 2016

BANCO MUNDIAL. Indicadores. Disponível em: <http://data.worldbank.org/indicator>. Acesso em 25 novembro 2015.

BRAGA, M.B.; LIMA, C.E.P. (Ed.). Reúso de água na agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 200p.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal. **Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília,

DF, 16 set.1965. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm>. Acesso em: mar. 2016.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 8 jan.1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: dez. 2015.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 mai.2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm#art83>. Acesso em: mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, v. 148, nº. 239, 14 dez. 2011. Seção 1, p. 39-46. Disponível em: <http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: mar. 2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Decisão de Diretoria nº 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014 que trata dos valores orientadores para solo e água subterrânea no Estado de São Paulo.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Decisão de Diretoria nº 103-2007-C-E, de 22-6-2007. Dispõe sobre o procedimento para o gerenciamento de áreas contaminadas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, Poder Executivo, São Paulo, v. 117, n. 119, 27 jun. 2007. Seção 1, p. 34. Disponível em: <https://www.imprensaoficial.com.br/DO/BuscaDO2001Documento_11_4.aspx?link=/2007/executivo%2520secao%2520i/junho/27/pag_0034_ED439K90VJ33ReC7AMSVQKL>

[H7J3.pdf&pagina=34&data=27/06/2007&caderno=Executivo%20I&paginaordenacao=10034](#)>. Acesso em mar. 2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. *Determinação da biodegradação de resíduos - método respirométrico de Bartha*. Norma L6 350, CETESB: São Paulo, 1990.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Norma Técnica P4.002 Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. 1ª Edição. Maio de 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Norma Técnica P 4.230 Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação – Manual técnico. Agosto de 1999.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Norma Técnica P 4.231 Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. 3ª Edição. Fevereiro de 2015. 2ª versão

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Norma Técnica P4.233 Lodos de Curtumes – Critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de Projetos – Manual técnico. Setembro de 1999.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Orientação para apresentação de projeto visando a aplicação de água de reuso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura. **Aplicação de água de reuso de ETE na agricultura**. São Paulo. 11 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo 2004-2006. São Paulo, 2007. 197p. (Série Relatórios).

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: mar. 2016.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n. 375, de 29 de agosto de 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. **Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 19 ago. 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>>. Acesso em: mar. 2016.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n° 430, publicada no Diário Oficial da União – DOU n° 092. 16 de mai. 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Indicadores da Agropecuária. Ano XXIV, Nº 11 Brasília. Novembro 2015.

EIKMANN, T.; KLOKE, A. (1993) Nutzungs und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-) Stoffe in Böden. In: Rosenkrantz, D.; Bachmann, G.; Einsele, G.; Harre?, H.M. (Ed.). (1988) **Boden Schutz - Ergänzbare Handbuch der Ma? nahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser**. Berlin:Erich Schmidt Verlag, cap 3590, p.17-18. 1993.

FERREIRA, A.C. *et al.* Sanidade. *In*: Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. 1ª edição. Rio de Janeiro. PROSAB (1999). 97p.

INTERNACIONAL UNIT FOR CONSERVATION OF NATURE – IUCN. 2008. Global Protected Areas Programme. Disponível em: <http://iucn.org/about/work/programmes/gpap_home/pas_gpap/>. Acesso em jan de 2016.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. As águas subterrâneas do Estado de São Paulo – São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA, 2009. 104p. il. Color (23cm.) - 2a. edição. ISBN 978.85.86624.56.8. 1. Águas subterrâneas. 2. Hidrogeologia. 3. Aquíferos do Estado de São Paulo. I. Iritani, Mara Akie II. Ezaki, Sibebe III.

MAFRA, N. M. C. **Esquema metodológico para la planificación de usos del suelo em zonas tropicales húmedas: aplicación a la Region Norte del Estado del Rio de Janeiro, Brasil**. Tese (Doutorado em Edafologia) - Universitat de València. Facultat de Geografia e Historia, València, 1997.

MENDES, J. A. D. Projeto de mestrado: Avaliação da eficiência do reúso direto de efluentes tratados de esgotos urbanos na fertilização de plantas oleaginosas.

Universidade Federal da Bahia/UFBA, Grupo de Recursos Hídricos-GRH, 2009. Disponível em: http://www.meau.ufba.br/site/system/files/projeto-Jo%C3%A3o_0.doc. Acesso em 19 de janeiro de 2016.

MINISTRY OF THE ENVIRONMENT; MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND RURAL AFFAIRS (1996). Guidelines for the Utilization of Biosolids and Other Wastes on Agricultural Land - Ontario, Canada.

PIRES A.M.M.; MATTIAZZO M.E. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, Circular Técnica nº19 - Avaliação da Viabilidade do Uso de Resíduos na Agricultura. Jaguariúna – SP. Novembro de 2008. Disponível em: http://www.cnpma.embrapa.br/download/circular_19.pdf. Acesso em: mar. 2016.

RAIJ, B. VAN; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI JR., R.; DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. (1996) Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. Boletim Técnico nº 100. Campinas. 2 ed. , 285 p.

RIBEIRO, J.C. REUSO DE EFLUENTES DA AGRICULTURA. 2013. 25 f. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/eduoliv/Seminarios2013/?action=download&file=L0phcXVlbGluZS9SRVVTTyBOQSBBR1JJQ1VMVFVSQSBGSU5BTC5wZGY>. Acesso em 10 de dezembro 2015.

SÃO PAULO. Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas. Regulamentada pelo Decreto nº 59.263, de 05 de junho de 2013. **Diário Oficial do Estado**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 08 jul. 2009. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13577-08.07.2009.html>. Acesso em: mar. 2016.

SÃO PAULO. Decreto nº 59.263, de 05 de junho de 2013. Regulamenta a Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 05 jun. 2013. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59263-05.06.2013.html>. Acesso em: mar. 2016.

SHIKLOMANOV, I. A. World water resources: a new appraisal and assessment for the 21st century. Paris: UNESCO, 1998. Disponível em: <http://biosinfonet.yolasite.com/resources/World%20water%20resources.pdf>. Acesso em 13 de janeiro 2016.

TEIXEIRA, W. et alli. Decifrando a Terra. São Paulo: Of de Textos, 2000.