

USO AGRONÔMICO DE RESÍDUOS¹

Nadir Almeida da Glória²

1. INTRODUÇÃO

A utilização agronômica de resíduos, pressupõe um número bem diverso de aplicações, entre os quais pode-se lembrar as utilizações em: alimentação animal, substrato para fermentações, fabricação de fertilizantes orgânicos ou organo-minerais, cobertura de pisos ("camas") em diferentes criações e sucedâneos de matéria prima para as agroindústrias ou atividades assemelhadas. Entretanto, o objetivo desta apresentação é restrito aos aspectos do uso de resíduos no solo, compreendendo os aspectos relacionados à caracterização desses resíduos, os benefícios ou inconvenientes da aplicação ao solo e os parâmetros que devem ser observados quando se pretende dar este destino aos resíduos.

Desta maneira, o assunto a ser tratado pode ser dividido em dois aspectos fundamentais: os resíduos e os solos.

No tocante aos resíduos, os principais fatores que afetam sua aplicação ao solo são:

- composição química
- características físicas
- aspectos sanitários
- quantidade gerada
- regime de liberação

Já em relação ao solo, deve-se considerar prioritariamente todas aquelas características responsáveis pela capacidade do solo em desativar e estabilizar os resíduos, através de mecanismos físicos, químicos e biológicos. Entre essas pode-se citar:

- textura
- estrutura
- permeabilidade
- pH
- capacidade de troca catiônica

¹ XX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas

² Professor Titular Aposentado – E. S. A. “Luiz de Queiroz”, Caixa Postal 9 – CEP 13418-900, Piracicaba-SP.
Pesquisador voluntário.

Porém, existem outros aspectos ambientais que associados ao tipo de resíduo e solo, contribuem para definir a viabilidade do uso de resíduos. Entre esses destacam-se:

- regime pluviométrico
- disponibilidade de área
- localização das áreas
- proximidades de coleções hídricas
- profundidade de lençol freático e direção do fluxo.

Não se podendo excluir do quadro geral dos fatores que vão permitir a decisão final, aqueles de origem legal e social.

Conforme se observa, o uso agrônomico de resíduos, visto apenas do ponto de vista da utilização no solo, apresenta a complexidade inerente a todos os sistemas que envolvem variáveis múltiplas e agravado por problemas que vão desde a geração do resíduo (resíduo é considerado lixo e como lixo é tratado!) até os de ordem social, inevitavelmente à mercê de fatores políticos e da ausência de normas legais definitivas.

É dentro deste quadro geral que se pretende abordar alguns aspectos específicos e considerados mais importantes para a utilização dos resíduos no solo.

2. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

A caracterização adequada dos resíduos é básica para definir o seu uso no solo e o conhecimento da origem do resíduo, compreende:

- **Matéria prima utilizada e suas características** - (Quantidade, tipo, origem).
- **Produtos acrescentados ao processo** (tipo, quantidade, etapa).
- **Regime de produção** <contínuo, intermitente, sazonal).
- **Tipo(s), quantidade(s) e regime de vazão** do(s) resíduos.
- **Aspectos do(s) resíduo(s)** (estado físico, temperatura).
- **Pré-tratamentos.**

Esta etapa permite estimar a variabilidade da composição do resíduo, facilita a caracterização química e já permite iniciar o direcionamento do estudo das possibilidades de uso do solo, e por sua vez é fundamental para que se estabeleça o chamado Plano de Amostragem do(s) Resíduo(s), etapa básica para uma adequada avaliação da composição química.

O Plano de Amostragem deve considerar:

- Resíduos a serem amostrados
- Locais de amostragens

- Frequências, volume, número e tipo das amostras
- Tipo de amostradores
- Método de preservação e estocagem.

Algumas dessas etapas já podem ser conduzidas de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e especificamente devem ser consultadas a NBR 9897/87 que trata do planejamento de amostragens de efluentes líquidos, a NBR 9898/87 que normatiza técnicas de amostragem e preservação de amostras de resíduos e a NBR 1007/87 sobre locais de amostragens, tipo de amostradores, condições e tempo de estocagem das amostras.

É bastante comum a inexistência destas etapas nos estudos agrônômicos sobre utilização de resíduos, o que torna os dados à respeito de sua composição química incompletos, devido a não permitir uma visão mais completa do processo de geração e das possibilidades de variação nas características químicas.

A avaliação química de um resíduo pode e deve ser conduzida em função das características prévias já levantadas e isto facilita e muitas vezes reduz o tipo e número de análises químicas a realizar. A NBR 9897 apresenta algumas recomendações de parâmetros mínimos para controle de efluentes líquidos, mas no geral pode-se considerar os seguintes parâmetros:

- Umidade
- Matéria orgânica
- pH
- Acidez ou alcalinidade
- Macronutrientes primários e secundários
- Micronutrientes
- Metais pesados além daqueles considerados micronutrientes (Pb, Cr, Hg, As, Cd)
- Sódio
- Condutividade
- Coliformes fecais
- Qualquer substância tóxica que se suspeite estar presente em função do processo de geração.

Deve-se considerar que o conhecimento adequado do processo de geração do resíduo, permite excluir determinadas análises, visto não haver possibilidade de introdução do elemento ou substâncias no processo e indica o potencial de nocividade de um resíduo pela presença de substâncias tóxicas.

É também o conhecimento do processo de geração que irá indicar a necessidade ou não de caracterizar a presença de determinadas formas de um elemento. Isto ocorre particularmente no caso do nitrogênio, fósforo, enxofre e substâncias orgânicas, pois em processos de fabricação há transformações, criando às vezes uma nocividade potencial do resíduo, a partir de uma situação original, não preocupante.

3. UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO NO SOLO

A partir da caracterização química do resíduo, é possível estimar-se a possibilidade da sua utilização no solo, considerando:

- Os preceitos legais existentes
- A avaliação dos efeitos no solo
- Taxa de aplicação
- Compatibilidade com a cobertura vegetal.

Preceitos legais

Em relação aos preceitos legais é importante considerar-se o que dispõe o Título IV do regulamento da Lei 997 de 31/5/76 do governo do Estado de São Paulo, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente (anexo 1).

O exame da legislação é sempre uma etapa importante, porquanto facilitará não só a caracterização do resíduo, face aos órgãos de controle, como também mostrará eventuais entraves ao que se pretenda.

O anexo 1, serve para exemplificar, no caso do Estado de São Paulo, o quanto a legislação está aberta a soluções deste tipo, desde que o projeto demonstre confiabilidade na preservação ambiental. Note-se inclusive que mesmo resíduos provenientes de sistemas de tratamento, deverão ter sua aplicação ao solo, autorizada pelos órgãos de controle.

Avaliação dos efeitos no solo

A adequada caracterização química, permite uma razoável aproximação dos efeitos que a aplicação do resíduo pode causar ao solo. Entretanto, devido às diversas variáveis influenciando esses efeitos, muitas vezes somente a caracterização química não é suficiente, servindo apenas como guia da provável taxa de aplicação ao solo.

Isto significa que, sendo um resíduo cujos efeitos no solo e nas culturas não são ainda perfeitamente conhecidos é necessário o estudo específico, adicionando-se doses do resíduo ao(s) solo(s) e aferindo-se os seus efeitos.

No geral os seguintes aspectos são considerados:

▪ pH

A influência da adição de um resíduo nas características de acidez ou alcalinidade dos solos é avaliada principalmente pelos seguintes parâmetros da caracterização química:

- pH do resíduo
- acidez ou alcalinidade
- teor de matéria orgânica
- presença de substâncias potencialmente ácidas ou alcalinas, quando reagem no solo.

A determinação do pH de um resíduo, deve considerar o seu estado físico natural. Se líquido, o pH pode ser lido diretamente no resíduo. Se pastoso ou sólido, através do preparo de uma suspensão com água destilada. No caso de pastosos ou líquidos não há uma metodologia bem estabelecida, encontrando-se relações resíduo: água variando de 2,5:1 até 50:1. Isto, já serve para evidenciar que a medida do pH é apenas um indicador das características ácidas ou alcalinas do resíduo, sendo imprescindível que se determine o seu potencial de acidez ou alcalinidade, mediante determinação específica. No geral, isto é feito mediante a colocação do resíduo de características alcalinas em solução com excesso de ácido, e após um período, titula-se a acidez remanescente e por diferença a alcalinidade potencial do resíduo. No caso de resíduo ácidos, coloca-se uma amostra do material em excesso de solução alcalina e após um período de tempo, determina-se a alcalinidade residual a por diferença a acidez potencial do resíduo.

Entretanto, o fato de um resíduo ter determinadas características de acidez ou alcalinidade, não significa que a sua incorporação ao solo irá acidificá-lo ou alcalinizá-lo. Isto é quase certo nos casos de resíduos minerais, porém no caso de resíduos com carga orgânica, nem sempre ocorre.

Provavelmente o exemplo mais conhecido, é o da vinhaça proveniente da fermentação alcoólica. O pH desse resíduo é inferior a 7 (de 3,5 a 5,0, dependendo do tipo da vinhaça) e sua acidez potencial bastante variável, conforme pode-se observar na Tabela 1.

Entretanto, a adição de vinhaça ao solo, provoca uma elevação do seu pH, conforme exemplos bastante conhecidos. Na Tabela 2, são apresentados os resultados de adição de vinhaça no pH e alumínio "trocável" de três solos, e que serve como exemplo geral do fenômeno.

Tabela 1. Valores de pH e da acidez de diferentes vinhaças (extraído de Rodella e Ferrari, 1977).

AMOSTRAS		ACIDEZ ⁽¹⁾ e.g. H ⁺ / l	pH
4	Us. da Barra	0,775	4,40

7	Us. Santa Elisa	0,151	4,00
12	Us. da Pedra	0,142	4,20
14	Us. Barbacena	0,186	3,80
16	Us. Costa Pinto	0,215	4,10

(¹) Titulação com solução de NaOH até pH 7,0

Tabela 2. Efeito da adição de vinhaça e algumas características de acidez dos solos (dados extraídos de Mattiazzo e Glória, 1985).

SOLO (¹)	Dias após aplicação vinhaça											
	0		14		36		67		123		178	
	pH	Al	pH	Al	pH	Al	pH	Al	pH	Al	pH	Al
AQ (T)	5,8	0,17	5,8	0,16	5,5	0,17	4,9	0,24	4,9	0,27	5,2	0,32
AQ (V)	4,7	0,52	5,5	0,09	5,9	0,03	5,9	0	6,4	0	6,3	0
LR (T)	6,7	0	6,5	0	6,4	0	6,3	0	6,2	0	5,6	0
LR (V)	5,7	0	6,1	0	6,2	0	0,1	0	6,3	0	5,8	0
PVA (T)	5,5	0,81	5,3	0,87	5,4	0,84	5,2	0,84	4,6	0,87	4,5	0,89
PVA (V)	4,5	0,77	4,7	0,64	4,9	0,43	4,9	0,43	5,2	0,42	5,8	0,33

(¹) (T) Testemunha

(V) solo com vinhaça na base de 500 m³ / há.

Exemplos similares a este, com outros resíduos orgânicos são conhecidos. Na Figura 1 é representada a variação no pH do solo submetido a tratamento com o licor negro da fabricação do furfural, com neutralização total (100% CaO), parcial (50% CaO) e sem neutralização, pelo hidróxido de cálcio. O licor negro de fabricação do furfural tem pH = 2,0 e acidez de 0,35 e.g H⁺/Kg, com 2,8% de matéria orgânica.

Este efeito é devido à carga orgânica desses resíduos, que sofre uma oxidação no solo, provocando a liberação de elétrons que são recebidos pelo O₂ ou H⁺ resultando na neutralização direta da acidez (no caso do H⁺) ou indireta, através da formação do íon oxigênio. Portanto, quanto maior a carga orgânica recebida pelo solo, mais evidente é o fenômeno.

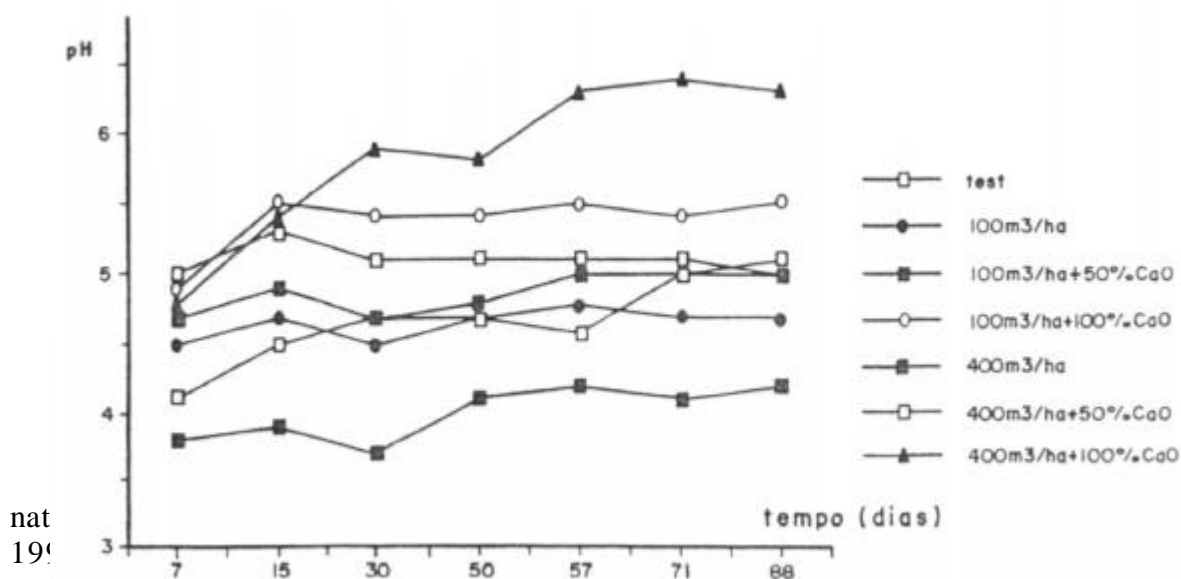
Componentes eventuais dos resíduos podem provocar elevação da acidez do solo, sem que o pH do resíduo caracterize exatamente este potencial. Um exemplo típico é de resíduos contendo enxofre ou óxidos derivados (SO₂), que podem causar grande aumento de acidez, sem no entanto, se ter pH baixo no resíduo.

A importância de se conhecer o efeito da adição dos resíduos no pH do solo é evidente, pelos efeitos diretos que podem causar nos vegetais, como pelos efeitos indiretos na disponibilidade de nutrientes e de metais pesados.

▪ Capacidade de troca catiônica (CTC)

Os resíduos contendo matéria orgânica podem contribuir para a elevação da CTC do solo. Entretanto este efeito varia bastante com:

- teor de material orgânico do resíduo
- tipo de compostos orgânicos predominantes no resíduo
- velocidade de oxidação desse material orgânico no solo
- quantidade do resíduo aplicado



Muitos resíduos apresentam o carbono orgânico em formas simples – açúcares, amido, ácidos orgânicos – e outros, em formas mais complexas – celulose, lignina ou óleos – e muitas vezes mistura em proporções variadas desses componentes orgânicos.

A velocidade de decomposição desses resíduos no solo, no sentido da formação do húmus ou mesmo em compostos orgânicos exibindo cargas negativas residuais é bastante variável. Resíduos contendo açúcares, amidos e ácidos orgânicos mais simples, são rapidamente oxidados no solo, pouco contribuindo para a formação de húmus e conseqüente aumento da CTC. Já aqueles contendo moléculas orgânicas maiores e/ou mais complexas, sofrem oxidação mais lenta e são capazes de contribuir para a formação de húmus, porém dentro de períodos bastante variável, em função dos componentes existentes no resíduo.

A nossa experiência tem demonstrado que resíduos celulósicos têm mostrado mais “persistência” nos solos, evidenciando que, nas condições de solos tropicais, há necessidade de uma maior atenção na “qualificação” do material orgânico, no sentido da sua real capacidade de provocar alterações mais permanentes na CTC.

Decorre daí a necessidade de estudos específicos em relação à capacidade dos resíduos orgânicos em provocarem alterações sensíveis na CTC, vinculada a uma melhor caracterização do seu material orgânico, o que não pode ser feito nas condições atuais e usuais de caracterização química dos resíduos.

Teor de nutrientes

A utilização dos resíduos no solo pode ser apreciada de duas formas distintas:

- a) Utilizando o solo apenas como depurador da carga orgânica;
- b) Visando à depuração do resíduo e o aproveitamento dos nutrientes nele contidos.

Nos dois casos, junto com a carga orgânica, estão sendo levados nutrientes. No primeiro caso, apesar do aproveitamento desses nutrientes não estar sendo considerado, é preciso lembrar que alguns desses elementos podem também causar problemas se a taxa de aplicação for elevada. O caso típico é do nitrogênio. Este elemento pode aparecer nos resíduos em diferentes formas e uma vez colocado no solo estará sujeito a reações que conduzem a:

- **imobilização parcial** pela incorporação pelos microorganismos do solo e transformação em compostos orgânicos contendo N, mais persistentes no solo.
- **perdas**
 - por volatilização
 - por lixiviação.

São as perdas por lixiviação as que mais preocupam, pois o destino final, do N adicionado ao solo, em condições aeróbicas e o nitrato. Esse ânion percola rapidamente nos solos e pode atingir o lençol freático, e o nitrato é nocivo à saúde.

A recomendação da taxa de aplicação de um resíduo, em relação ao N disponível nele contido é que a quantidade do resíduo seja correspondente ao nitrogênio que a cobertura vegetal utiliza. Essa quantidade pode ser 50% maior se a aplicação é feita superficialmente, devido às perdas por volatilização que ocorrem.

Deve ser notado que existe um efeito cumulativo das aplicações de resíduo contendo N, e este efeito deve ser levado em consideração, quando se calcula a taxa de aplicação. Na Tabela 3, está um exemplo da liberação do nitrogênio em função do seu teor no lodo e do período transcorrido após a aplicação.

Tabela 3. Liberação de N durante a decomposição do lodo no Solo ⁽¹⁾

Áreas após a aplicação	Conteúdo de N orgânico no lodo (%)			
	2,0	3,0	4,0	5,0
kg N liberado por t de lodo adicionado				
1	0,50	0,70	0,95	1,20
2	0,45	0,70	0,90	1,15
3	0,45	0,85	0,85	1,10

⁽¹⁾ Parcialmente extraída de Fuller e Warrick (1985).

Obviamente, para nossas condições é importante conhecer os diferentes parâmetros que procuram definir a taxa de aplicação, incluindo-se aí o que se deve incluir como “N-disponível” do resíduo e o efeito do tempo na liberação do N.

Ainda em relação aos nutrientes e à taxa de aplicação do resíduo, deve-se levar em consideração todos os nutrientes nele contidos e procurando estabelecer uma taxa de aplicação em função de um nutriente específico contido em maior porcentagem, e uma vez atendidas as eventuais limitações devido aos aspectos de: carga orgânica, teor de sais e sódio e dos metais pesados.

Sais e sódio

A taxa de aplicação de um resíduo ao solo pode ser limitada devido à presença de uma excessiva carga salina. A avaliação da carga salina e seus efeitos no solo ou nas culturas deve ser avaliada em função das condições climáticas da região e da textura e permeabilidade do solo. Regiões áridas e/ou solos argilosos tendem a ter condições mais restritivas ao uso de resíduos salinos (condutividade acima de 2,0 mmhos/cm⁻¹) o que corresponde a aproximadamente 1250 ppm de sólidos dissolvidos. Entretanto, nas nossas condições isto requer avaliações específicas.

Dentre os sais solúveis, nos resíduos é freqüente a presença de sódio. Este íon, provoca, através do deslocamento do Ca e Mg dos colóides do solo, a dispersão das argilas e conseqüente perda da condutividade hidráulica do solo. Admite-se que este efeito surge toda vez que o Na⁺, aparece em níveis iguais ou superiores a 15% do complexo sortivo do solo.

Uma avaliação do potencial nocivo da sodicidade de um resíduo pode ser feito pela “relação de adsorção de sódio”, RAS de 5 a 15 podem conduzir a problemas de destruição da estrutura dos solos. A RAS é calculada por:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

onde Na, Ca e Mg indicam a concentração respectiva dos íons sódio, cálcio e magnésio em e.mg/l de solução.

Outra vez deve-se ficar alerta acerca dos nossos poucos conhecimentos a respeito desses índices, em condições de clima e solo, principalmente das regiões central, sul e sudeste do país.

Metais pesados

Uma das grandes preocupações quando se cogita da aplicação de resíduos ao solo é o seu conteúdo de metais pesados, incluindo-se nesta discussão, também elementos de densidade inferior a 5,0, como é o caso do boro.

No tocante aos metais pesados, suas presenças em níveis excessivos podem inviabilizar a aplicação no solo ou exigir pré-tratamentos para sua redução e posterior uso.

A quantidade de resíduo a aplicar, em função dos seus teores em metais pesados é dependente de uma série de propriedades dos solos, entre as quais pode-se citar: pH, CTC, teor de argila, óxidos de Fe, Al e Mn, carbono orgânico total (COT) e sólidos solúveis.

A preocupação com o nível de metais pesados no solo advém da capacidade de retenção dos mesmos pelo solo, sua movimentação no perfil do solo e possibilidade de atingir o lençol freático e a biodisponibilidade para os diferentes vegetais.

Os mecanismos que auxiliam sua retenção via precipitação e ou absorção são: pH, CTC, teor de argila e de óxidos hidratados de ferro. Quanto maior estes valores, maior a possibilidade de retenção. A presença de matéria orgânica, sais solúveis ou condições anaeróbicas facilitam a movimentação no perfil e favorecem a absorção pelos vegetais.

A Tabela 4 exemplifica as recomendações vigentes nos Estados Unidos, quanto à adição de metais pesados e a CTC dos solos.

Tabela 4. Quantidade total de metais permitida em áreas agrícolas⁽¹⁾

Metais	CTC do solo (e.mg/100g)		
	0-5	5-15	> 15
	----- kg/ha ⁽²⁾ -----		
Pb	600	1200	2400
Zn	300	600	1200
Cu	150	300	600
Ni	150	300	600
Cd	6	12	24

⁽¹⁾ Adaptada de Fuller e Warrick (1985).

⁽²⁾ Quantidade total que pode ser aplicada, em uma ou mais aplicações, sempre mantendo o pH do solo <6,5)

É óbvio que o conhecimento da composição química do resíduo e dos locais disponíveis para a sua aplicação, demonstrarão como a aplicação deve ser definida em função de se eliminar o perigo de contaminações, aliada à utilização mais prolongada possível dos locais de disposição.

No referente ao boro, cuja amplitude da faixa de concentração no solo benéfica para os vegetais, é bastante estreita, tem sido recomendado que sua concentração no resíduo não ultrapasse 4 ppm. No geral, a pré-caracterização do resíduo já revela suas potencialidades quanto a este elemento e por isso nem sempre é necessário a sua análise.

Matéria orgânica

A avaliação da matéria orgânica dos resíduos pode ser feita através de diferentes determinações: sólidos solúveis, oxigênio consumido (OC), demanda química de oxigênio (DQO), demanda biológica de oxigênio (DBO). Os valores dessas determinações não são iguais, mas as suas correlações são muito altas e inquestionavelmente quanto maior os seus valores maior o conteúdo de matéria orgânica do resíduo. Admite-se que a forma mais adequada seria a determinação da DQO, reservando-se a DBO para avaliação em efeitos nos cursos d'água, uma vez que a ação microbiana no solo é mais diversificada e dinâmica que nas águas.

Provavelmente, o maior interesse do uso dos resíduos no solo, reside na capacidade deste meio em decompor a matéria orgânica, sem afetar o ambiente de forma significativa.

A taxa de aplicação de um resíduo ao solo deve prever, portanto, que o solo será capaz de agir no sentido de decompor a matéria orgânica, sem riscos da sua lixiviação pelo perfil do solo, ou de transporte, por processos erosivos, para coleções hídricas e ainda sem causar odores ou perturbações de ordem estética e social.

Entretanto, os resíduos apresentam uma grande diversidade de compostos orgânicos, os quais, por sua vez, têm diferentes taxas de decomposição no solo. A Figura 2 procura demonstrar isto.

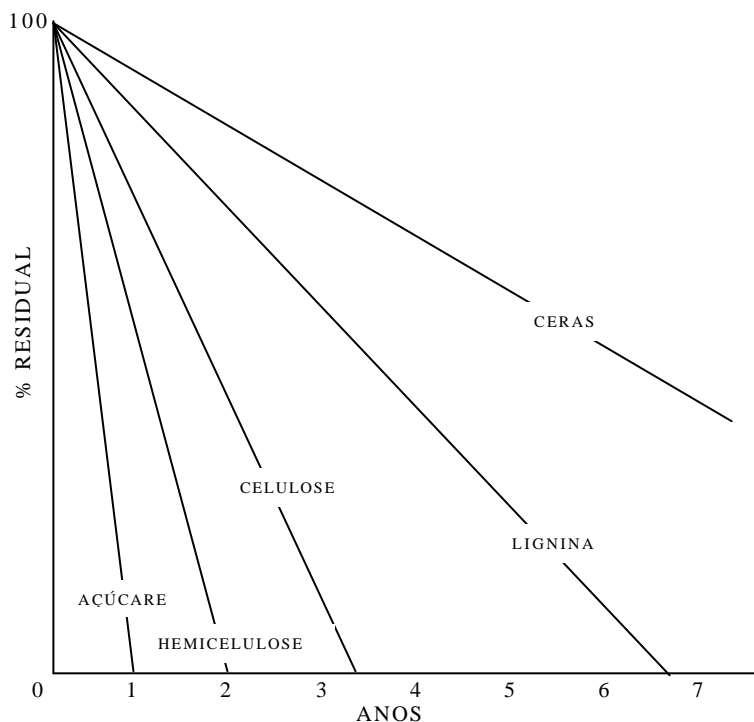


Figura 2. Curvas de decomposição para vários constituintes orgânicos (Extraídos de Fuller & Warrick, 1986)

Além disto, a presença de outros nutrientes, notadamente o nitrogênio e o fósforo afetam pronunciadamente a decomposição da matéria orgânica.

O consumo de nitrogênio pela decomposição da matéria orgânica é avaliado em 5% da DBO. Assim se o resíduo tem DBO de 800 ppm e a vazão é de 50 ls, serão necessários 4147 kg de N mensais, a fim de que a remoção de DBO atinja 80%. Sendo que o N a considerar é o N inorgânico e não o N total.

Em relação ao fósforo a boa remoção da DBO é obtida quando a relação DBO/P é inferior a 100. Portanto, com um resíduo de 800 ppm de DBO, no mínimo deve-se ter 8 ppm de P, para uma boa remoção da carga orgânica. É óbvio que quando se cogita na aplicação no solo, este substrato já pode conter o P mínimo necessário para a remoção, ou então, se o resíduo for pobre no elemento, este deverá ser adicionado.

A condição de decomposição aeróbica é mais eficiente que a anaeróbica para a remoção da matéria orgânica. Portanto, se através de uma adição excessiva de resíduos, conduzir-se a uma condição anaeróbica, reduz-se a taxa de remoção e perde-se eficiência do sistema.

A Figura 3 procura demonstrar este efeito.

Incluídos como “matéria orgânica” os resíduos podem conter compostos orgânicos tóxicos e ou de difícil degradação no solo.

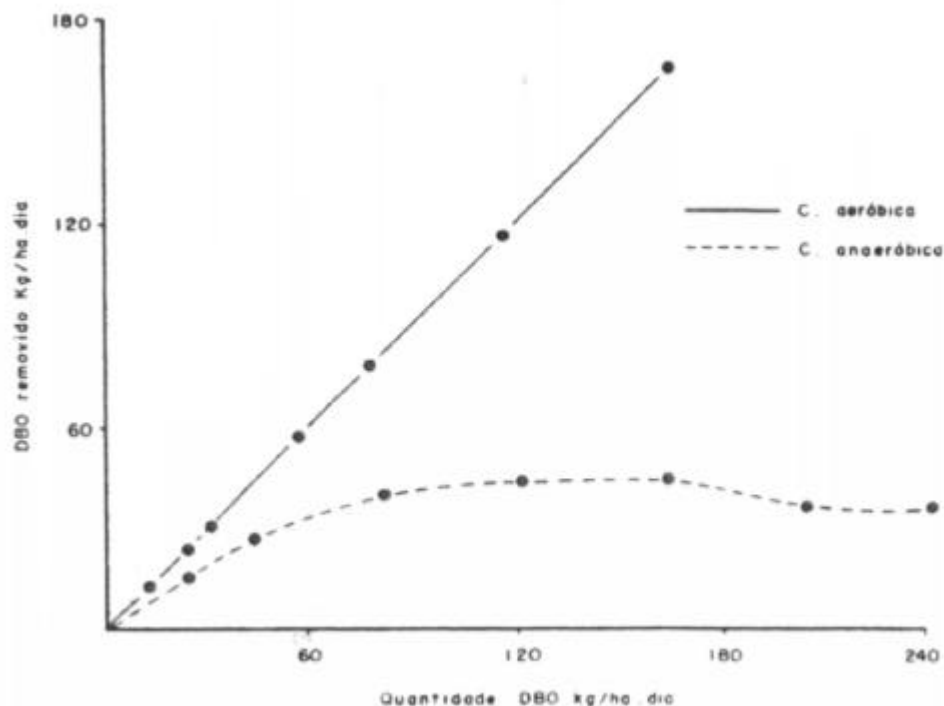


Figura 3. Comparação da remoção da DBO com diferentes taxas de aplicação de resíduos da fabricação de celulose, em condições aeróbicas e anaeróbicas (adaptado de FULLER e WARRICK, 1986).

A pré-caracterização do resíduo indica a possibilidade de compostos orgânicos deste tipo, e as suas presenças, exigirão não só a determinação específica, como o estudo em condições de laboratório e campo, da sua degradabilidade, movimento no solo, e potenciais de riscos, com outros testes como os de toxidez e mutagenicidade.

4. PROCEDIMENTOS PARA O USO DE RESÍDUOS NO SOLO

Procurou-se evidenciar que a utilização de resíduos no solo pode, e deve **ser praticada, mediante** cuidados especiais e que compreendem várias etapas que vão da pré-caracterização dos resíduos na sua origem, aos estudos de seus efeitos específicos no solo.

Na figura 4 está um fluxograma dos procedimentos que são recomendados.

Deve ser notado que além daqueles aspectos já tratados nos itens precedentes, os procedimentos para uso do resíduo no solo, não se esgotam na sua caracterização e efeito no solo. A definição sobre a necessidade de pré-

tratamentos, será baseada na caracterização química, e os efeitos no solo devem ser testados com o resíduo já tratado.

A vazão dos resíduos e sua periodicidade, sazonalidade e homogeneidade vão ditar a necessidade de depósitos que tanto poderão servir para um armazenamento, em função do sistema de aplicação a ser adotado e como colaboração para uma maior homogeneidade do resíduo.

As taxas de aplicação estão ligadas ao sistema de aplicação a ser empregado e que por sua vez, está relacionado à disponibilidade de área, sua localização em relação ao ponto gerador, topografia e aspectos legais e sociais.

Uma vez definidas as possibilidades do uso, taxa de aplicação, sistema a ser adotado é imprescindível o cálculo econômico do que está sendo proposto, principalmente em comparação com outras alternativas de tratamento. Neste particular é importante caracterizar os aspectos dos Investimentos fixos e variáveis, a fim de se poder ter uma real avaliação das opções. Geralmente, processos alternativos ao uso no solo tem custos variáveis extremamente elevados pelo gasto com energia e produtos químicos, enquanto que os de aplicação ao solo caracterizam-se, neste aspecto, pelos elevados custos do transporte do resíduo. Já em relação aos investimentos fixos, os sistemas de uso no solo têm a vantagem de, muitas vezes, não exigir grandes dispêndios, enquanto que os processos alternativos em geral exigem investimentos iniciais elevados.

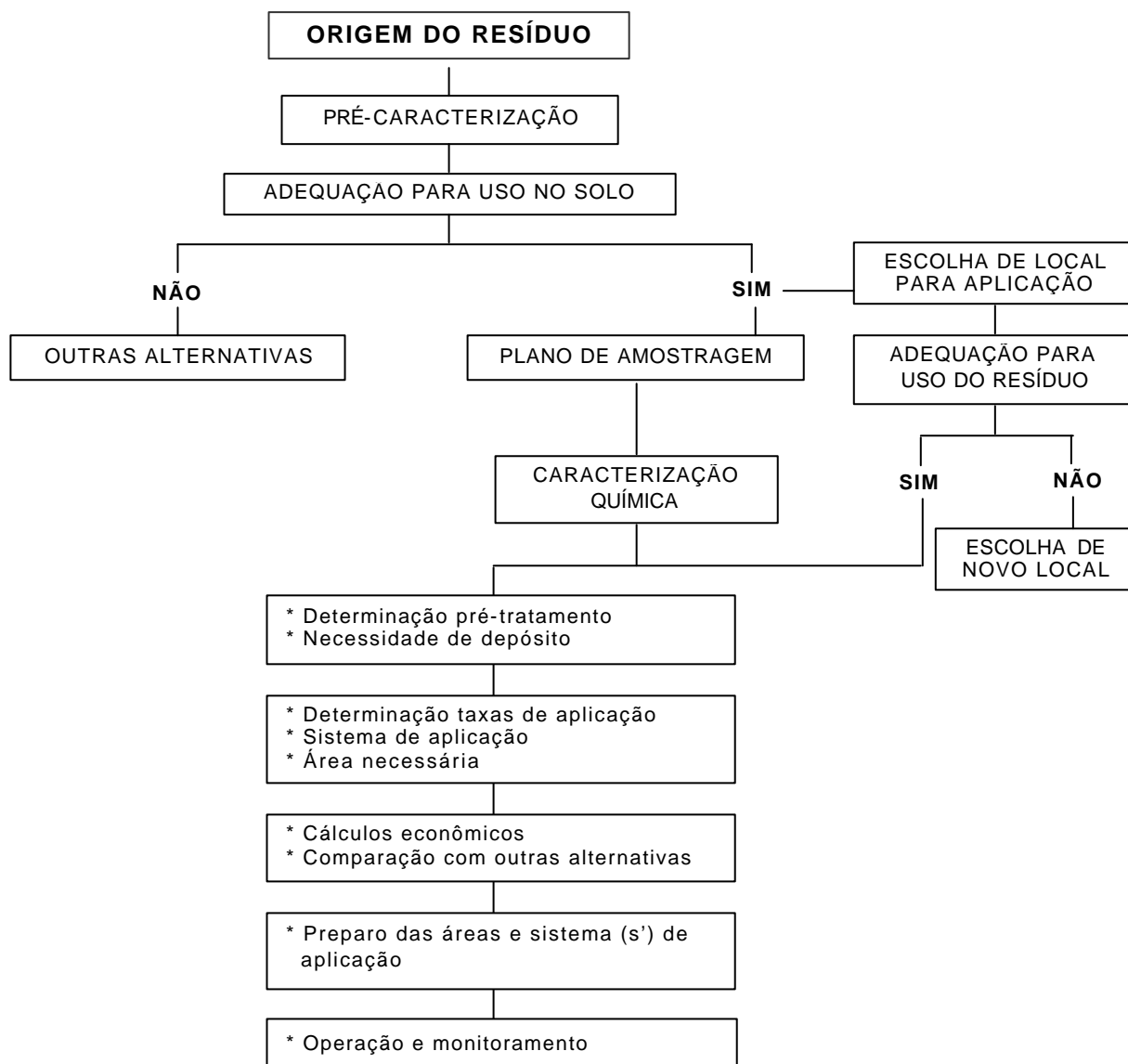


Figura 4. Fluxograma dos procedimentos para uso de resíduos no solo.

Complementarmente deve ser lembrado que o uso dos resíduos no solo deve ser conduzido no sentido de não só eliminar a sua nocividade, mas também tornar atraente o seu uso, quer como fonte de nutrientes para as culturas, ou como condicionador do solo. Nesses casos é possível que o resíduo se torne um sub-produto, devido a passar a ter um valor de comércio.

Uma vez decidida a implantação do sistema, passa-se as fases de execução e operacionais, compreendida pelo preparo das áreas de aplicação e do funcionamento do sistema de aplicação. Já a operacionalização não deve compreender apenas o transporte e aplicação, sendo fundamental o acompanhamento do processo, através do monitoramento das condições do solo e das águas subterrâneas e/ou adjacentes ao local(is) de aplicação.

Conclui-se, portanto, que a aplicação de resíduos ao solo abre perspectivas de estudos bastante amplos e reconhece-se a extrema carência de dados, nas nossas condições, de climas e solos sobre os efeitos da aplicação de resíduos. O que se espera é a conscientização para o problema e o apoio para que se formem especialistas nestas áreas, através, principalmente de pesquisas sérias e objetivas sobre todos os aspectos aqui abordados e aqueles que não foram considerados, devido a extensão do assunto.

ANEXO I

TITULO IV DO REGULAMENTO DA LEI 997 DE 31/5/76

Da Poluição do Solo

Art. 51 Não é permitido depositar, descarregar, enterrar, infiltrar ou acumular no solo, resíduos em qualquer estado de matéria, desde que poluentes, na forma estabelecida no artigo 3º deste Regulamento.

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 do transporte e destino final, ficando vedado a simples descarga ou depósito, seja em propriedades públicas ou particular.

Parágrafo Único. Quando a disposição final, mencionada neste artigo, exigir a execução de aterros sanitários, deverão ser tornadas medidas adequadas para proteção das acuar superficiais e subterrâneas, obedecendo-se a normas a serem expedidas pela CETESB.

Art. 53. Os resíduos de qualquer natureza, portadores de patogênicos, 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 projetor 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.

Art. 55. Somente será tolerada a acumulação temporária de resíduos de qualquer natureza, na fonte de poluição ou em Outro locais, desde que não ofereça risco de poluição ambiental.

Art. 56. O tratamento, quando for o caso, o transporte e a disposição de resíduos de qualquer natureza, de estabelecimentos industriais, comerciais e de prestação de serviços, quando não forem de responsabilidade do Município, deverão ser feitos pela própria fonte de poluição.

§1º. A execução, pelo Município, dos serviços mencionados neste artigo, não eximirá a responsabilidade da fonte de poluição, quanto à eventual transgressão de normas deste Regulamento, específicas dessa atividade.

§2º. O disposto neste artigo aplica-se também nos lodos, digeridos ou não de sistemas de tratamento de resíduos e de outros materiais.