

IV USO AGRÍCOLA DE COMPOSTO ORGÂNICO: CONTROLE DA QUALIDADE AMBIENTAL E INFORMATIZAÇÃO

Fábio C. da Silva
Adriana M. M. Pires
Adriana D. dos Santos
Luiz H. A. Rodrigues
Cássio H. Abreu Jr.

Introdução

A questão pública começa já na própria concepção de “lixo” – material inútil resultante das diversas atividades, mero subproduto do sistema produtivo –, que induz à idéia de que este deve ser eliminado, resultando, muitas vezes, no descarte de matéria de forma inadequada, em locais desprovidos de qualquer controle de contaminação ambiental. Atualmente, existe um conceito moderno para “lixo”, que passa a ser tratado como “resíduo sólido”, isto é, uma matéria que pode ser potencialmente responsável por problemas de degradação ambiental mas que também pode possuir valor econômico agregado, sendo aproveitada no processo produtivo e na agregação de mão-de-obra excluída.

No Brasil, onde não há uma legislação para o tratamento e descarte dos resíduos sólidos, são geradas 229 mil toneladas de lixo por dia, sendo que 60% dele não têm um destino adequado. A fração orgânica desse resíduo representa 50% de sua composição, podendo provocar graves impactos ambientais e à saúde pública. O gerenciamento sustentável dos resíduos sólidos é uma questão crítica que preocupa as administrações públicas municipais, preconiza a

adoção de sistemas descentralizados, dentro de um planejamento integrado, e dá ênfase às ações de minimização para solucionar o problema. Uma das principais ações diz respeito à maximização da reciclagem e ao reaproveitamento desses resíduos. Além disso, os aspectos sociais e econômicos da gestão de resíduos sólidos, como a falta de espaço físico e de verbas para a construção de novos aterros, têm contribuído para despertar o interesse do setor público em busca de alternativas economicamente sustentáveis.

A geração de resíduos sólidos tem aumentado significativamente nas sociedades contemporâneas, sendo que o acúmulo de resíduos se acentua diariamente em um determinado ambiente, proporcionalmente: (i) à sua população urbana, que exige maior produção de alimentos e bens de consumo direto; e (ii) ao seu crescimento industrial, implicando uma piora sensível da qualidade de vida nos grandes centros urbanos e seus entornos.

Até bem pouco tempo atrás, as propostas para o equacionamento da questão dos resíduos sólidos eram estritamente técnico-científicas e voltadas à sua destinação final. O crescente conhecimento das implicações do aumento do volume de resíduos sólidos, os impactos decorrentes do manejo, tratamento e deposição destes no ambiente, o esgotamento de matérias-primas e fontes de energia e o engajamento da sociedade organizada têm aumentado a consciência ambiental, que reflete na necessidade de mudança de paradigma do gestor público com relação ao tratamento e à qualificação do problema dos resíduos sólidos.

A compostagem dos lixos urbanos para uso agrícola e florestal vai ao encontro dessa aspiração, uma vez que é uma forma de deposição que utiliza o solo como um meio favorável ao consumo da carga orgânica potencialmente poluidora, apresenta os menores custos, pode ser viabilizada tecnicamente pela pesquisa, pode trazer

os benefícios inerentes à incorporação de matéria orgânica ao solo, promove a reciclagem de nutrientes (OLIVEIRA, 2000; ABREU JR. *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2002; BERTON, 1995), além de reduzir o risco de contaminação com patógenos humanos em relação à permanência do lixo sem tratamento. Entretanto, a presença de contaminantes como metais pesados, compostos orgânicos persistentes e os próprios patógenos humanos e/ou animais (em compostagens mal conduzidas) pode limitar a adição do resíduo aos solos agrícolas. O nitrato também pode representar um problema devido à falta de sincronismo entre a mineralização de N e a absorção do nutriente pelas plantas, resultando em risco de contaminação do lençol freático, pela lixiviação de nitrato. Portanto, é necessária uma rigorosa regulamentação de padrões de qualidade do composto e de monitoramento da adição deste ao solo, para se evitarem riscos ambientais a curto e longo prazo e danos à saúde humana e/ou animal.

Nesse sentido, em vários países onde a gestão pública dos resíduos utiliza a compostagem do lixo como uma opção de descarte, foram definidos sistemas de avaliação de todo o processo de reciclagem, procurando-se responder as questões básicas para o sucesso do seu uso na agricultura: (a) os resíduos a serem compostados atendem a critérios mínimos de qualidade biológica, química e física para uso agrícola, atendendo inclusive a regras internacionais (HOGG *et al.*, 2002)? (b) o sistema de tratamento produz uma quantidade de composto que pode ser vendida durante todo o ano e existem áreas agrícolas para recebê-los? (c) os agricultores estão satisfeitos com o produto comercializado e, com isso, promovem seu uso para outros, repetidamente, expandindo o mercado? (d) no uso agrícola de composto, são tomados os cuidados de proteção ambiental? Se a resposta para essas quatro perguntas for positiva, pode-se dizer que o sistema funcionará bem,

independentemente do seu gestor.

Outro ponto importante é o de que o gestor público moderno requer informações técnicas adequadas e condições estruturais compatíveis para o manejo, tratamento e deposição dos resíduos do município. Desse modo, há diversos sistemas disponíveis, que vão desde metodologias baseadas em sistemas de informação geográfica, agrupando as variáveis de solos, o que reflete a sua capacidade de suporte ambiental para escolha das melhores áreas para a construção de aterros sanitários (WEBER; HASENACK, 2000), passando por softwares que procedem à análise da viabilidade econômica da implantação de uma usina de compostagem (SILVA *et al.*, 1999), até sistemas para avaliar a qualidade do composto de lixo e recomendar o seu uso na agricultura (SILVA *et al.*, 2002a). Entretanto, a política nacional de resíduos é o mecanismo que deverá indicar os meios econômicos para se adotar uma ação mais adequada, porém respeitando critérios agronômicos e ambientais de qualidade.

A falta quase total de uma legislação que regulamente o uso agrícola do composto de lixo urbano, que está em fase de discussão junto ao Ministério da Agricultura, aumenta, ainda mais, a responsabilidade do poder municipal no que concerne a um eficiente e adequado desempenho de coleta, transporte e, principalmente, deposição final do resíduo. Para adotar medidas que contribuam ao correto tratamento dos resíduos sólidos, faz-se necessário um gerenciamento de forma integrada. Para que isso ocorra, o conhecimento sistêmico do problema permite vislumbrar alternativas para sua gestão, as quais demandam um comportamento diferente dos setores público, produtivo e de consumo.

Os modelos de gestão dos resíduos sólidos

A política de gestão de resíduos sólidos inclui a coleta, o

tratamento e a deposição adequada de todos os subprodutos e produtos finais do sistema econômico, tanto no que se refere ao lixo convencional como ao lixo tóxico. Atualmente, há consenso de que, além disso, essa política deve também atuar de forma a garantir que os resíduos sejam produzidos em menor quantidade já nas fontes geradoras, dando-se especial atenção à redução dos contaminantes em sua composição.

Os novos objetivos e princípios da política ambiental, e, conseqüentemente, o estabelecimento de novas prioridades da gestão de resíduos sólidos no nível internacional, implicam uma mudança radical nos processos de coleta e deposição de resíduos. Dentre os princípios que devem ser levados em conta na política pública de resíduos, destacam-se dois: a) o princípio da informação – a população tem o direito de possuir informação disponível sobre o potencial de impacto dos produtos e serviços sobre o meio ambiente e a saúde pública, e sobre os ciclos de vida e etapas dos produtos e seus componentes; e b) o princípio da prevenção, optando-se pela precedência das soluções de redução, reutilização e reciclagem às formas de deposição final. Nesse caso, a compostagem pode representar uma opção viável, desde que se adote uma regulamentação específica para que o composto do lixo urbano produzido possa ser utilizado sem colocar em risco a saúde humana e o meio ambiente (GALVÃO JÚNIOR, 1994).

O uso agrícola do composto de lixo urbano (CLU) vem em contraposição aos antigos sistemas de tratamento desses resíduos, que tinham como prioridade sua deposição, seja em aterros, seja em lixões (“livrar-se do lixo”). Mais recentemente, já é contemplada uma reciclagem parcial da fração seca desse material, mas com enfoque no retorno econômico. A coleta seletiva é importante na gestão municipal e também deve ser aprimorada.

De acordo com os dados da associação Compromisso Empresarial para Reciclagem (Cempre), os recicláveis que vão para a indústria correspondem a 80% do alumínio, 75% do plástico, 40% do papel e 17% do vidro produzido. Mas se deve destacar que o material reciclável representa entre 15% a 20% do lixo produzido no Brasil. Atualmente, deve-se ter como prioridade um ciclo ecológico de manejo (Figura 1), o que significa a montagem de um sistema circular, onde a quantidade de resíduos a serem reaproveitados dentro do sistema produtivo seja cada vez maior, e a quantidade a ser descartada menor.

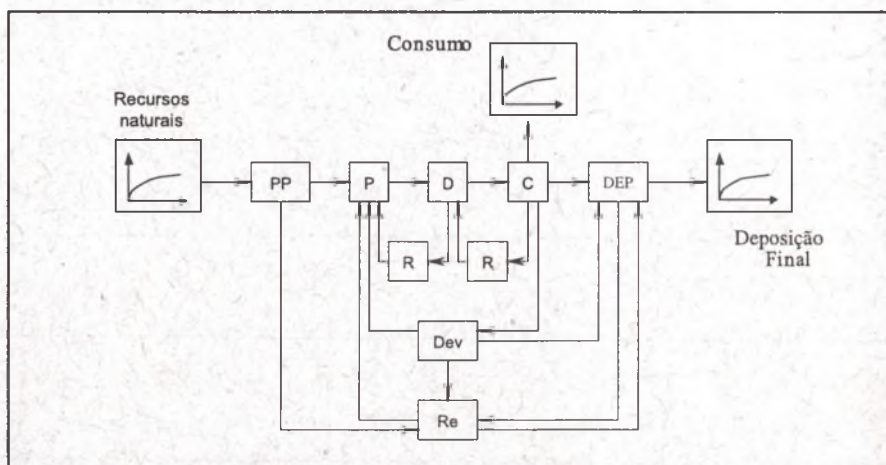


Figura 1. Modelo de gestão de resíduos sólidos adaptados às novas prioridades da política ambiental (DEMAJOROVIC, 1995). Dev – devolução, Re – reutilização, R – reciclagem.

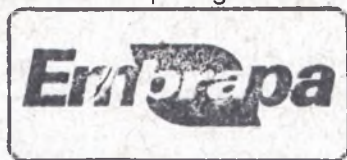
O gerenciamento sustentável dos resíduos sólidos pressupõe a redução da carga destinada a aterros, especialmente pela compostagem da fração orgânica. A compostagem é um processo biológico, no qual os resíduos putrescíveis vão-se degradando e estabilizando em um novo produto com características físicas, químicas e biológicas distintas dos resíduos iniciais. Esse

processo pode ser acelerado nas usinas de compostagem, onde o produto final se denomina composto, uma substância escura e uniforme. Quando sua fração orgânica está estabilizada, passa a ter aspecto de massa amorfa é rico em partículas coloidais, lembrando o "húmus". Esse produto estabilizado pode ser utilizado na agricultura, mediante um controle dos valores máximos de metais pesados e patogênicos.

Uso de composto de lixo na agricultura: uma breve análise da legislação internacional e da qualidade do CLU no Brasil

No mundo inteiro, as questões ligadas à compostagem são respondidas inicialmente por meio de ações integradas, que começam com uma preocupação com os custos relativos ao processo de compostagem, com o manejo dos recursos públicos aplicados ao saneamento ambiental e com a necessidade de legislação reguladora para administração de seu destino final.

Existem vários países que encorajaram a inserção da compostagem na gestão dos resíduos sólidos, destacando-se a Áustria, Bélgica, Alemanha e Holanda. Os usos do processo de compostagem são bastante variados, podendo ser desde uma simples estabilização e redução do volume da fração orgânica para deposição em aterros até aplicações em grandes volumes, como o uso na agricultura. Hoje, o avanço do processo de compostagem é tão importante quanto a qualidade requerida pelo mercado consumidor, gerando a necessidade de se desenvolverem mercados na mesma velocidade em que o material é produzido. A chave do sucesso é cada país possuir um padrão controlado de qualidade do composto aceito para ser aplicado na agricultura, que é apoiado por meio de sistemas para garantia de qualidade.



Um ponto importante quanto à qualidade do composto é a presença de contaminantes. Para se aplicar na agricultura o CLU de maneira segura, deve-se monitorar a presença de metais pesados, patogênicos e poluentes orgânicos (dioxinas, bifenilas policloradas, entre outros). Uma vez no solo, essas substâncias podem ser degradadas, absorvidas pelas plantas, adsorvidas ou mesmo translocadas no perfil, podendo atingir o lençol freático. Geralmente, as regulamentações apresentam limites de concentração desses contaminantes, além de controle das taxas de aplicação. É interessante destacar que, em países onde a compostagem já é uma prática bastante difundida, a manutenção da qualidade do composto está diretamente relacionada com o uso de resíduos sólidos oriundos de coleta seletiva (HOGG *et al.*, 2002).

A qualidade dos CLU produzidos no Brasil, quanto ao teor de contaminantes, ainda não foi devidamente avaliada. Existem, porém, alguns estudos como o de Grossi (1993), em que foram analisados compostos orgânicos de dezesseis usinas de compostagem de lixo brasileiras. O autor constatou, em sete delas, a presença de dioxinas (dibenzo-p-dioxinas policloradas) em concentrações acima do valor aceitável proposto pela legislação alemã. Nesse mesmo trabalho, observou-se também que, para uma das usinas, a soma das concentrações de seis congêneres de PCBs (bifenilas policloradas) foi superior ao limite de tolerância sugerido pela legislação alemã.

Em relação à presença de patógenos humanos no composto, o mais importante é realizar o processo de compostagem de maneira correta. Isso porque um processo de compostagem bem conduzido pode reduzir a concentração de patógenos do CLU devido à competição entre as espécies microbianas, a fatores antibióticos e, principalmente, à manutenção de alta temperatura por determinado tempo (na fase termofílica a temperatura está compreendida entre 55 e 60°C) (BERTOLDI *et al.*, 1982; PEREIRA NETO, 1996).

Observando-se os teores de metais pesados encontrados em compostos produzidos em quatro usinas de compostagem do estado de São Paulo (Tabela 1), tem-se que eles estariam acima dos limites permitidos nas legislações alemã, suíça e holandesa (Tabela 2). Por outro lado, esses mesmos teores atendem aos limites estabelecidos nas legislações italiana, austríaca e francesa. Isso se deve ao fato de que tanto a Alemanha como a Suíça e a Holanda não possuem terras agricultáveis disponíveis para a aplicação de resíduos sólidos, além de um histórico de problemas ambientais. Com isso, valores mais restritivos foram adotados, fundamentados em estudos de balanços iônicos, cujos metais adicionados aos agrossistemas devem ser compensados por perdas de igual valor. Na Holanda, além de haver uma lei que limita as quantidades máximas de metais presentes no composto de lixo, há também uma legislação que impede a continuação da aplicação do composto no solo agrícola, se a concentração de um determinado metal ultrapassar um valor preestabelecido.

De maneira geral, na Europa é aplicado o princípio da precaução, que induz à melhoria nos projetos de produção de compostos, resultando em melhor qualidade destes e garantindo a sua comercialização (BRINTON, 2001).

Nos Estados Unidos, a Agência Federal de Proteção Ambiental (USEPA) é o órgão responsável pela regulamentação das doses máximas permitidas de metais pesados presentes em produtos provenientes de resíduos urbanos que poderão ser aplicados aos solos. Os teores toleráveis foram determinados com base no conceito de rota de exposição, sendo permitido enriquecer os agrossistemas com metais pesados até um limite considerado seguro, flexibilizando bastante o uso agrícola.

Tabela 1 – Teores máximos e mínimos (em termos de matéria seca) encontrados em compostos maturados de resíduos sólidos urbanos provenientes de diferentes usinas do estado de São Paulo.

	Sto. André ^{1,2}	S. Mateus ^{1,2,3}	S. J. dos Campos ²	Vi. Leopoldina ²	Grossi (1993)	Cravo (1998)
	g/kg					
N	15,0	13,2	11,5	12,5	-	7-14
P	10 (6-11)	9 (4-14)	4 (2-18)	5 (3-10)	-	2-5
K	4 (3-8)	5 (3-6)	6 (3-21)	10 (7-16)	-	3-11
Ca	55 (45-65)	47 (24-63)	29 (12-55)	20 (14-50)	-	20-36
Mg	5 (3-7)	4 (3-6)	6 (2-15)	4 (3-7)	-	2-5
Fe	32 (25-38)	26 (16-38)	15 (13-25)	15 (13-25)	12-23	13-52
Al	23 (20-24)	16 (12-32)	16 (13-37)	20 (18-39)	6-13	11-19
Na	4 (2-10)	4 (2-6)	6 (4-19)	8 (6 - 17)	-	-
	mg/kg					
Cd	8,5 (4,6-14,3)	5,2 (3-12,4)	2,6 (0,7-5,0)	1,2-10,1	0,1-0,5	1,0-5,3
Cr	228(141-366)	180 (52-318)	78 (18-122)	65 (33-239)	76-104	29 -168
Cu	284 (163-718)	336 (107-983)	178 (47-607)	210 (187-621)	61-271	45-215
Mn	384 (312-518)	342 (220-466)	165 (58-445)	227 (208-648)	-	153-535
Ni	91 (48-185)	84 (32-1300)	58 (13-123)	38 (27-104)	20-30	11-27
Pb	375 (164-1632)	208 (65- 411)	110 (1 - 493)	315 (108 - 745)	56-432	92-600
Zn	1260 (590-556)	1098 (312-671)	310 (217-764)	379 (170-875)	102-259	111-1006

¹Silva *et al.* (2002b); ²Chitolina *et al.* (2001) e ³Abreu Jr. (1999).

Tabela 2 – Teores permissíveis de metais pesados (mg/kg), na base de matéria seca, no composto de lixo urbano em alguns países da Europa e nos Estados Unidos.

País	Pb	Cu	Zn	Cr	Ni	Cd	Hg
Alemanha ¹	150	100	400	100	50	1,5	1
Estados Unidos ²	500	500	1000	1000	100	10	5
França ³	800	-	-	-	200	3	8
Austrália ⁴	200	200	250	400	60	3	1
Áustria ⁵	120	150	500	70	60	1	0,7
Itália ⁶	500	600	2500	500	200	10	10
Sulça	150	150	500	-	-	3	3
Holanda ⁷	100	60	200	50	20	1	0,3
Brasil *	150	200	500	200	70	5	1

Fonte: Síntese de várias legislações, modificada de Brinton (2001) e ¹Quality assurance RAL GZ-compost/digestion; ²EPA CFR40/503 Sludge Rule; ³NF Compost Urban; ⁴ARMCANZ limits for biosolids; ⁵Compost Ordinance: Quality A – agriculture; ⁶Limits values for solid organic fraction; ⁷Compost ordinary e *Proposta em discussão junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (junho de 2004).

Por outro lado, é possível reduzir os teores de metais pesados presentes nos compostos de lixo, o que pode ser um caminho mais seguro a ser seguido. Para tanto existem alguns procedimentos, destacando-se a adoção da coleta seletiva, em virtude de o processo ser mais eficiente; no âmbito da usina, de modo menos eficiente, o uso de um separador balístico e de um eletroímã no final da esteira de catação. Na Tabela 1, são apresentadas as médias e amplitudes da concentração de diversos elementos em diferentes compostos de lixo (BERTON e VALADARES, 1991; GROSSI, 1993; CRAVO, 1998; ABREU JR., 1999; CHITOLINA *et al.*, 2001 e SILVA *et al.*, 2002b). Os resultados foram obtidos a partir da análise de mais de 50 amostras de composto provenientes das usinas São Mateus, Santo André e Vila Leopoldina, localizadas na cidade de São Paulo, e de uma usina de São José dos Campos, todas no estado de São Paulo. Os compostos de lixo apresentaram valores de pH em água entre 6,5 e 8,0, teores de P entre 2 e 14 g/kg e de Ca entre 12 e 60 g/kg, sendo classificados como nível médio e alto para todos os compostos analisados, de acordo com critérios de Kiehl (1985). Entretanto, os valores de N (5 a 14 g/kg), Mg (3 a 7 g/kg) e K (3 a 20 g/kg) apresentaram-se no nível indesejável, baixo e médio respectivamente, para os compostos de todas as usinas amostradas. O composto de lixo também possui vários micronutrientes em sua composição, como Zn, Mn e Cu, que podem ser liberados para as plantas após mineralização e solubilização, reduzindo ou mesmo substituindo o uso de fertilizante. Entretanto, o composto de má qualidade, isto é, aquele que é produzido a partir de um lixo indevidamente coletado e separado, pode conter outros metais tóxicos como chumbo, crômio, cádmio e níquel, que, uma vez adicionados ao solo, podem ser absorvidos pelas raízes e translocados para a parte aérea das plantas, entrando assim na cadeia alimentar. Quanto ao teor de matéria orgânica, os valores encontrados foram semelhantes,

variando de 300 a 490 g/kg, em função da época de coleta, tanto nos compostos crus como nos maturados (CHITOLINA *et al.*, 2001).

Visto o exposto, é indiscutível a necessidade de se regulamentar o uso agrícola de CLU, estabelecendo-se padrões de qualidade para sua deposição segura nos solos. Uma vez regulamentada essa prática, o controle de qualidade do composto passa a ser uma ferramenta importante para se atingirem e se manterem os padrões exigidos. Desse modo, o composto poderá ser considerado um produto seguro e de qualidade, podendo ser vendido como um produto útil para a agricultura. Além disso, os sistemas de controle de qualidade representaram um papel importante para assegurar um marketing positivo de produtos de composto de qualidade em muitos países.

Estudo de caso: controle de qualidade e de uso de composto de lixo na agricultura, apoiado por sistema especialista

Atualmente, a recomendação do uso do composto de lixo urbano (CLU) na agricultura no estado de São Paulo é feita em dosagem única para o tipo de cultura, sem considerar as características do solo, da propriedade rural e da composição do próprio CLU (RAIJ *et al.*, 1996; BERTON e VALADARES, 1991). Existem também lacunas na legislação sobre a orientação do uso agrícola e sobre a definição de critérios para garantir a segurança ambiental, e, conseqüentemente, a agroalimentar. Nesse cenário, um grupo de pesquisadores paulistas de várias instituições (Embrapa, IAC, ESALQ e CENA/USP e UNITAU) vem atuando, desde 1995, na geração de conhecimentos para o melhor aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos em solos agrícolas. O objetivo da pesquisa foi equilibrar a capacidade de fornecer nutrientes de um composto estabilizado ao solo, atendendo às necessidades

nutricionais das plantas, obtendo-se um resultado final em termos de produtividade e qualidade dos produtos conforme o almejado pelos agricultores. Desse modo, o CLU pode melhorar as condições físicas e químicas do solo, e, associado com adubos minerais, proporcionar um melhor aproveitamento dos nutrientes, trazendo reflexos na produtividade e na qualidade dos produtos finais das lavouras (SILVA *et al.*, 2002b). Todavia, a questão da acumulação de materiais potencialmente tóxicos nas áreas agrícolas pela aplicação do CLU deve ser considerada e fundamenta-se na prevenção de impactos ambientais.

Esse grupo de pesquisadores desenvolveu uma metodologia para o uso agrícola do CLU apoiado por auxílios à pesquisa fornecidos pela Fapesp (VASCONCELOS, 2003). Essa metodologia está fundamentada nos processos de tipo de coleta de lixo e de maturidade do CLU, que constituem fatores de restrição ambiental e de manejo agrícola adequado por cultura. Obtiveram-se resultados experimentais para algumas culturas, que são agrupados por exigências nutricionais similares: hortaliças (alface, chicória e rabanete); arroz e feijão; cana-de-açúcar; triticales, milho, mandioca e aveia branca. O conhecimento gerado está registrado na Circular Técnica da Embrapa (SILVA *et al.*, 2002b).

Buscando-se difundir o conhecimento desses pesquisadores de maneira mais eficiente e abrangente, optou-se pela utilização de tecnologias de Sistema Especialista (SE). O uso de ferramentas computacionais para agregar o conhecimento de especialistas e facilitar a sua difusão não é novidade na agricultura, porém sua adoção para agregar conhecimento sobre o uso agrícola de CLU o é. A inserção de novos conhecimentos numa base de conhecimentos é facilitada pelas tecnologias de SE. Por exemplo: incorporar resultados experimentais de culturas como laranja, eucalipto, roseira, outras hortaliças e cana-de-açúcar.

Inicialmente, construiu-se um protótipo de SE de uso acadêmico que analisa a adequação do CLU para uso agrícola e, se for possível, faz a recomendação de seu manejo na lavoura (SILVA *et al.*, 2002a). Para tal, necessita-se do estabelecimento de um conjunto de regras que representam o conhecimento dos especialistas. Utilizando-se como base o Comunicado Técnico da Embrapa, a equipe multidisciplinar de Engenharia do Conhecimento, composta por pesquisadores da área de CLU e de sistemas especialistas, organizou o conhecimento em forma de regras. Essas regras permitem: (i) o diagnóstico da qualidade de lote de CLU a partir de dados de análise físico-químico-biológica de amostras coletadas durante o período de maturação e (ii) a recomendação de uso agrícola do CLU a partir de dados sobre a composição química do solo da propriedade rural, o tipo de cultura e as características físico-químico-biológicas do CLU disponível. As regras foram extraídas de diversas pesquisas experimentais e de avaliação química e microbiológica do CLU. Esse processo de engenharia gerou a base de conhecimento do protótipo do sistema especialista. Para ilustrar, a Figura 2 mostra um esquema de funcionamento do protótipo (delimitado pelo retângulo tracejado denominado “SE”) e o contexto em que ele está inserido, desde a realização das pesquisas sobre o uso do CLU na agricultura e a sua produção até a sua análise, recomendação de uso e manejo pelo produtor rural.

Na parte superior da Figura 2 há especialistas em compostagem de lixo urbano realizando suas pesquisas e adquirindo conhecimento (atividades representadas pelo retângulo “Pesquisas em CLU”). Um especialista que conhece as técnicas de Engenharia de Conhecimento organiza este conhecimento adquirido em forma de regras e alimenta a Base de Conhecimento (DURKIN, 1994) (retângulo “Geração de regras”). Esta Base de Conhecimento agrega de forma única o conhecimento do grupo de pesquisadores.

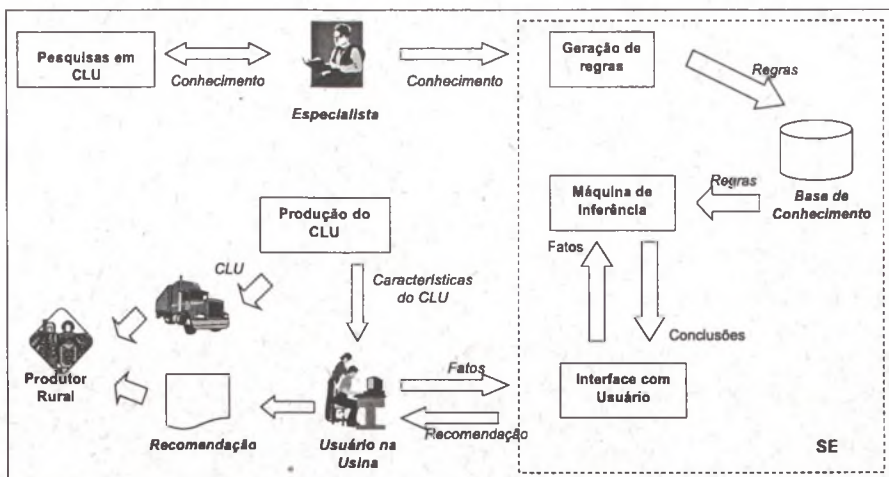


Figura 2. Esquema de funcionamento e contexto do SE de recomendação da aplicação do composto de lixo na agricultura.

Considerando-se uma usina de compostagem, o CLU é produzido e são realizadas análises químico-biológicas para obter as características deste CLU (atividades representadas pelo retângulo "Produção de CLU"). Com o objetivo de atender a um pedido de compra de CLU de um cliente dessa usina (representado pelo ícone "Produtor Rural"), um membro do departamento comercial dessa usina (representado pelo ícone "Usuário na Usina") solicita ao SE uma recomendação de uso do CLU representado pelo retângulo "Interface com Usuário". Nesta interação, fornece ao SE os fatos que são compostos pelas características químicas do solo da propriedade rural de um cliente, pela indicação da cultura em que se pretende usar o CLU e as características do CLU.

O SE combina os fatos recebidos com a Base de Conhecimento para chegar às conclusões sobre o problema (retângulo "Máquina de Inferência"). As conclusões são formatadas em recomendações de uso do CLU para aquela determinada propriedade e cultura (retângulo "Interface com Usuário"). Esta recomendação é entregue ao Produtor Rural junto com o composto que ele comprou.

Em paralelo à construção do protótipo, vem aumentando a demanda pelo estabelecimento de padrões de qualidade de composto de lixo e de monitoramento de sua aplicação a solos agrícolas e pela regulamentação do uso agrícola do resíduo a partir dos resultados obtidos, visando à garantia da preservação do ambiente e da saúde humana e/ou animal.

Segundo Pires *et al.* (2004), a Embrapa, com o objetivo de contribuir para atender a essa demanda, está iniciando trabalhos nessa direção através de um projeto de pesquisa que foca em dois pontos principais: (i) propor padrões de qualidade de CLU e de monitoramento de seu uso em solos agrícolas, como subsídios para a regulamentação do uso agrícola do CLU e (ii) desenvolvimento de um sistema de informação que dê suporte a essa regulamentação, ou seja, inserção do protótipo do SE em um sistema de informação mais amplo, que permita, além da difusão do conhecimento dos especialistas, o monitoramento do uso do CLU em solo agrícola por um órgão fiscalizador.

No que se refere ao levantamento dos requisitos desse sistema de informação, também chamado de SIRCLUA (Sistema Inteligente para Recomendação de uso de Composto de Lixo Urbano na Agricultura), definiu-se que esse sistema integrará o sistema de Gestão Municipal de Resíduos Sólidos e o sistema Agrícola.

O sistema de Gestão Municipal de Resíduos Sólidos é composto de quatro subsistemas – Populacional, Coleta, Deposição e Tratamento – e faz interface com o sistema Agrícola. Os subsistemas são representativos e aplicáveis a um município típico do interior do estado de São Paulo. Além disso, todos os subsistemas estão inseridos dentro de um escopo sócioeconômico, respeitando-se a capacidade de suporte ambiental do local. A Figura 3 apresenta um esquema dos subsistemas do sistema de gestão e sua interação com o sistema Agrícola. Nesta figura, os retângulos de borda arredondada representam os subsistemas, os retângulos de bordas retas

representam os processos (de subsistema ou sistema) e as setas representam os fluxos entre os elementos dos sistemas. O retângulo cinza representa sistema o SIRCLUA.

Nesse contexto de gestão de resíduos sólidos, o SIRCLUA está inserido no subsistema Tratamento, dando suporte ao processo de avaliação de qualidade do CLU e integrando o sistema de gestão com o sistema Agrícola. Dessa maneira, permite-se elaborar uma recomendação de uso agrícola do composto de acordo com as suas características químicas e sua patogenicidade, considerando-se, ainda, as características de fertilidade do solo da propriedade rural e o tipo de cultura a ser implantada. O SIRCLUA deverá alimentar uma base de dados de recomendações de uso agrícola do CLU. Nota-se que qualquer mudança em um dos componentes do sistema levará a uma série de conseqüências e respostas aos demais. Por isso, a qualidade do composto de lixo é reflexo de uma série de fatores diversos, como a coleta seletiva, o hábito alimentar da população e o tipo de processo de compostagem e reciclagem.

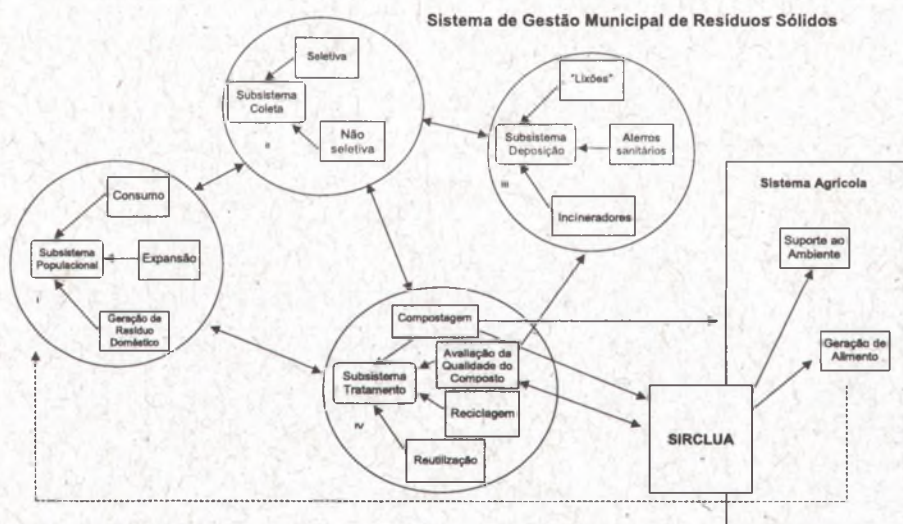


Figura 3. Relações interativas acerca dos diferentes subsistemas na gestão pública municipal do lixo.

O Sistema Agrícola, representado através dos processos Suporte ao Ambiente e Geração de Alimento, aplica o CLU em solo agrícola; através do SIRCLUA, será possível monitorar essas áreas de aplicação.

O escopo do SIRCLUA engloba os processos *Engenharia do Conhecimento*, *Diagnóstico da Qualidade e Geração da Recomendação de uso do CLU*, como apresentado na Figura 4¹.

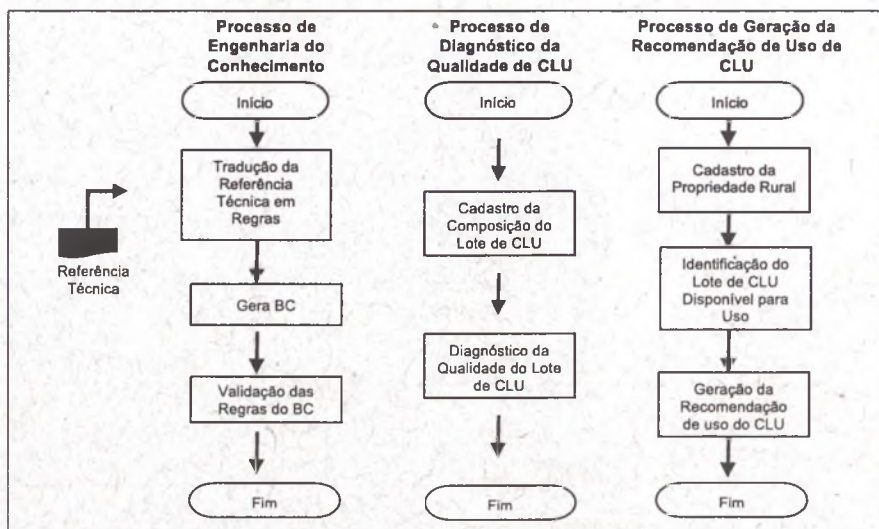


Figura 4. Processos englobados pelo SIRCLUA.

Fundamentado num documento normatizador, genericamente representado na figura por “Referência Técnica”, inicia-se o processo de Engenharia do Conhecimento. A primeira atividade traduz o conhecimento registrado para um conjunto de regras. Essas regras são armazenadas em uma Base de Conhecimento (BC). Em seguida, valida-se o conjunto de regras, confrontando-o com o conhecimento da referência técnica. Nessa atividade, várias iterações ocorrem até que a BC esteja em conformidade

¹Até o presente momento o processo Monitoramento de uso do CLU não foi especificado porque depende do estabelecimento de uma regulamentação.

com a referência técnica. Ao término dessa atividade, a BC estará liberada para uso dos demais processos.

O processo *Diagnóstico da qualidade de CLU* inicia-se com o cadastramento das características físico-químico-biológicas de lotes de CLU produzidos e em processo de maturação. Várias análises podem ser cadastradas até que o CLU esteja maturado. O diagnóstico da qualidade é feito através do confronto das características do lote de CLU com as regras armazenadas na BC, e um laudo é emitido. A qualidade do lote é classificada em: *Adequada*, quando está dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pela referência técnica; *Adequada com restrições*, quando o uso é restrito para algumas culturas; e *Inadequada*, quando o uso agrícola é impróprio.

O processo de *Geração da recomendação de uso do CLU* inicia-se com o cadastramento das propriedades rurais que são clientes da usina de compostagem. Nesse cadastramento, informações de identificação da propriedade e de análise química do solo são fornecidas. Em seguida, dentre os lotes que estão com qualidade "Adequada" ou "Adequada com restrições", identifica-se qual o lote de CLU que está disponível para uso. Solicita-se a geração da recomendação de uso do CLU confrontando as características do CLU, as características do solo da propriedade onde será aplicado e quais as culturas que serão manejadas. O resultado será uma recomendação, a ser entregue para o cliente junto com o produto e também a ser armazenada em uma base de dados, para que possa, no futuro, alimentar o processo de monitoramento.

O levantamento de requisitos consistiu em: (i) identificação dos processos envolvidos na produção de CLU e delimitação do escopo inicial do SIRCLUA; (ii) construção de um protótipo contendo somente um esboço das telas do sistema, com o intuito de esclarecer que atividades foram associadas aos seus respectivos processos, identificando-se as funcionalidades de cada um deles; e (iii) validação

das funcionalidades apresentadas nesse protótipo.

A validação foi realizada com técnicos de laboratório, especialistas em CLU e representantes de usina de grande porte e de pequeno porte. Os resultados obtidos nessa etapa mostram que o sistema contribuirá para diminuir a complexidade da tarefa de diagnóstico da qualidade do CLU, para aumentar o desempenho das tarefas de laboratório, para diminuir o esforço mental para execução dessas tarefas, além de influenciar a formalização e/ou padronização de processos de trabalho. Contribuirá, ainda, para melhorar o manejo da cultura, já que oferecerá uma recomendação de uso específica para a cultura e para as características da propriedade; além disso, a base de dados de recomendação será o insumo para realizar o monitoramento da área agrícola em que for usado o composto ao longo dos anos.

As próximas etapas de desenvolvimento do SIRCLUA utilizarão como referência esses requisitos identificados para nortear as soluções tecnológicas a serem adotadas. Como a tecnologia de sistema especialista será usada para armazenar o conhecimento sobre a qualidade do CLU e o seu uso em solo agrícola, é possível desenvolver esse sistema em paralelo ao esforço de propor padrões de qualidade de CLU, porque os resultados que serão obtidos nesse esforço, em geral, afetam os valores dos parâmetros que estão considerados na base de conhecimento do protótipo acadêmico de SE.

Ainda, um aspecto importante é que a funcionalidade e a eficiência de uma unidade de compostagem dependem da adequação da escolha do processo e dos equipamentos apropriados para serem operados pela equipe técnica local – com custos de manutenção compatíveis e tecnologia dominada ou conhecida – e dependem da integração do processo de compostagem com o gerenciamento de resíduos sólidos do município, sendo também dependentes do estabelecimento de uma rede organizada de consumidores no ano todo.

Referências

ABREU JUNIOR, C. H. **Propriedades químicas e disponibilidade de nutrientes e de metais em diferentes solos adubados com composto de resíduo urbano**. 1999. 159f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F.C. *Cátions trocáveis, saturação por bases e capacidade de troca de cátions em solos brasileiros adubados com composto de lixo urbano*. **Scientia Agricola**, v.58, n.4, p.813-824, 2001.

ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F.C. *Carbono orgânico, nitrogênio, fósforo e enxofre em solos tratados com composto de lixo urbano*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, nº3, p.769-780, 2002.

BERTOLDI, M. *Comparison of three windrow compost systems*. **Biocycle**, v. 23, p.45-50, 1982.

BERTON, R.S. **Utilização agrícola do composto do lixo urbano**. Relatório Final à Secretaria de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico, São Paulo, 1995. 76p.

BERTON, R.S.; VALADARES, J.M.A.S. *Potencial agrícola do composto de lixo urbano no Estado de São Paulo*. **O Agrônomo**, v..4, p.87-93, 1991.

BRINTON, W. F. *An international look at compost standards*. **Biocycle**, v.42, nº4, p.74-76, 2001.

CHITOLINA, J.C.; SILVA, F.C. da; ABREU, M.F. de; PALMA, F.M. de S.; CARMO, J.B. do. **Decomposição da matéria orgânica de compostos de lixo urbano e posterior preparo de extratos nítrico-perclórico**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2001. 12p. (Embrapa Informática Agropecuária. Circular Técnica, 1).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aplicação de biossólido em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação**. São Paulo, 1999. 35p. (Manual Técnico).

CRAVO, M.S. **Composto de lixo urbano como fonte de nutrientes e metais pesados para alfafa**. 1995. 148f. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura/ Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DEMAJOROVIC, J. *Da política tradicional de tratamento de lixo à política de*

gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, nº3, p.88-93, 1995.

DURKIN, J. **Expert systems: design and development**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1994. 800p.

GALVÃO JUNIOR, A.C. **Aspectos operacionais relacionados com usinas de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares no Brasil**. 1994. 113f. *Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo / Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.*

GROSSI, M. G. de L. **Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileiras de lixo urbano através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas**. 1993. 222f. *Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo.*

HOGG, D.; BARTH, J.; FAVOINO, E.; CENTEMERO, M.; CAIMI, V.; AMLINGER, F.; DEVLIEGHER, W.; BRINTON, W.; ANTLER, S. **Comparison of compost standards within the EU, North America and Australasia**. Oxon: *The Waste and Resources Action Programme-WRAP*, 2002. 97p.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Ceres, 1985. 492p.

OLIVEIRA, F.C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 2000. 247f. *Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ Universidade de São Paulo, Piracicaba.*

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56p. PIRES, A. M. M.; SANTOS, A. D. dos; ABREU JÚNIOR, C. H.; TEIXEIRA, E. N.; SILVA, F. C. da; GURRINI, I.; BELTRAME, K. G.; BARREIRA, L. P.; RODRIGUES, L. H. A.; LIGO, M. A. V.; RODRIGO, M. S.; RIBEIRO, M. A.; GROOKE, M.; ABREU, M. F. de; BERTON, R. S.; BETTIOL, W. **Estabelecimento de padrões de qualidade e de monitoramento da aplicação de compostos de lixo urbano em solos agrícolas e florestais**. Brasília, DF: Embrapa, 2004. 26 p. (Embrapa. Macroprograma 3 – Desenvolvimento Tecnológico Incremental). *Projeto em Andamento.*

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2ª ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

SILVA, C. A. B.; PEREIRA NETO, J. T.; FERNANDES, A. R.; NOVAIS, F. V. *Reciclon 2.0: um sistema de apoio à implantação de pequenas unidades de reciclagem de*

resíduos sólidos. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E AGROINDÚSTRIA, 2,1999, Campinas. **Anais...** Disponível em: <http://www.agrosoft.org.br/trabalhos/ag99/artigo40.htm>. Acesso em: 09 mar. 2005.

SILVA, F. C. da; COSTA, F. O. da; ZUTIN, R.; RODRIGUES, L. H. **Sistema especialista para aplicação do composto de lixo urbano na agricultura.** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002a. (Documentos, 22). Disponível em: <http://www.cnptia.embrapa.br/publica/2002/doc22.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2005.

SILVA, F. C. da; BERTON, R. S.; CHITOLINA, J. C.; BALLESTERO, S. D. **Recomendações técnicas para o uso agrícola do composto de lixo urbano no Estado de São Paulo.** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002b. (Circular Técnica 3).

VASCONCELOS, Y. "O melhor do lixo" – Software e nova metodologia de análise indicam a qualidade do composto orgânico usado como adubo. **Pesquisa Fapesp**, nº91, p.75-81, set. 2003.

WEBER, E.; HASENACK, H. Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA, 6, 2000, Salvador, BA. **Anais...** Disponível em: <http://delmonio.ecologia.ufrgs.br/idrisi/artigos/aterro.pdf>. Acesso em: 30 out. 2004.