

GESTÃO PÚBLICA DE RESÍDUO SÓLIDO DOMICILIAR ORGÂNICO NO MUNICÍPIO: COMPOSTAGEM, AGRICULTURA E INFORMÁTICA

Fábio Cesar da Silva¹
Adriana Delfino dos Santos²
Ronaldo Severiano Berton³

Introdução

A gestão pública começa já na própria concepção do “lixo” no âmbito municipal, como um material inútil resultante das diversas atividades, mero subproduto do sistema produtivo e, geralmente, preocupa-se em livrar-se desse material e na maioria das vezes, ocorrendo o seu descarte de forma inadequada em locais desprovidos de mínimos cuidados ambientais. O conceito moderno passa a ser tratado como “resíduo sólido”, isto é, um composto que pode ser potencialmente responsável por graves problemas de degradação ambiental, mas que possui valor econômico agregado, podendo ser aproveitado no próprio processo produtivo e que permite agregar mão de obra excluída nessa reciclagem (D’ALMEIDA; VILHENA, 2010).

No Brasil, a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), atinge a cifra de 39,8 mil toneladas (Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos de 2013, segundo a CETESB, 2014), sendo que cerca de 51,4% dos resíduos gerados nas cidades são orgânicos, o qual é reativo no meio e pode ser contaminado podendo provocar sérios impactos ambientais e para a saúde pública (IBGE, 2010). Há uma legislação normativa para o tratamento e descarte dos resíduos sólidos, no que se destacam as políticas dos governos federal (Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS

1 Pesquisador Dr. Embrapa Informática Agropecuária, Campinas – SP e Professor na Fatec Piracicaba/ Agência Inova Paula Souza. E-mail: fabio.silva@embrapa.br e fabiocesar.inovacps@gmail.com

2 Pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas – SP. E-mail: adriana.delfino@embrapa.br

3 Pesquisador do Instituto Agronômico de Campinas/Apta, Campinas – SP. E-mail: berton@iac.sp.gov.br

Agradecimentos

Aos nossos ex-estudantes da Unicamp e ex-bolsistas colaboradores que atuaram no projeto, Giancarlo T. Nakajima, Agnaldo Janot Mendes Filho, Daniel Mendes, Renato Silva de Deus, Rogério Guedes e Taciana Figueiredo Gomes, entre outros, trabalhando em parte das avaliações e desenvolvimento dos estudos de casos. As unidades de reciclagem e compostagem que apoiaram a iniciativa e as instituições (IAC, USP, Unicamp, FESPSP, Unitaú) e parceiros de pesquisa por caminhar juntos no desenvolvimento da pesquisa.

- Lei 12305/2010) e estadual (Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo - PERS, Lei 12.300/2006). Embora, tais legislações busquem incentivar a regionalização da gestão de resíduos urbanos retomando a ideia das grandes usinas de compostagem e agregando o conceito de formação de consórcio de municípios, aos quais possuem histórico de insucesso e problemas de continuidade em todo território nacional (D'ALMEIDA; VILHENA, 2010) e também em outros países de baixa renda. Apesar desta diversidade de possibilidades, a Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (PERS, Lei 12.300/2006) (SÃO PAULO, 2006; SILVA *et al.*, 2009), pouco discorre ou incentiva a prática de compostagem.

O gerenciamento sustentável do resíduo sólido urbano (RSU) 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 (D'ALMEIDA; VILHENA, 2010; SILVA *et al.*, 2009; FEHR, 2006). Uma das principais ações diz respeito à maximização da reciclagem e ao reaproveitamento desses resíduos, que se inclui o retorno da fração orgânica do lixo pelo processo de compostagem e aproveitá-lo na agricultura urbana e rural como condicionador das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo (BERTON; VALADARES, 1991; SILVA *et al.*, 2002; ABREU JUNIOR *et al.*, 2009). Entretanto, há um evidente fracasso no gerenciamento público do tratamento fica evidente pela redução das URCs de compostagem em funcionamento, estimada que apenas 1,6% desses resíduos sejam aproveitados desta maneira no país (IPEA, 2012).

Além da redução na participação da compostagem na gestão, há reflexos sociais e econômicos pela maior necessidade da disposição final, seja devida, a falta de espaço e de investimento para a construção de novos aterros sanitários têm contribuído para despertar o interesse do setor público nos municípios em busca de alternativas economicamente sustentáveis (SILVA *et al.*, 2009). Retomando-se os aspectos estatísticos do gerenciamento público de resíduos municipais, em 2013, a porcentagem de resíduos sólidos dispostos em aterros sanitários no Estado de São Paulo foi de 97,9% (CETESB, 2014) e se por um lado, há melhora nos índices e na própria tecnologia de saneamento ambiental no âmbito estadual de disposição final, por outro há aterros das grandes cidades que caminham rapidamente para a plena saturação (IBGE, 2010) e a necessidade de redução de custos desta destinação (ABREU JUNIOR *et al.*, 2009), se estima que a vida útil é menor do que cinco anos, a exemplo da capital paulistana, de Campinas e outras metrópoles (SÃO PAULO, 2014).

A compostagem é o processo de decomposição biológica da matéria orgânica em condições controladas de aerobiose, temperatura e umidade problema (D'ALMEIDA; VILHENA, 2010; SILVA *et al.*, 2009; FEHR, 2006), gerando um produto estável denominado composto ou adubo orgânico. Em função da origem, os RSU são diferenciados em resíduos domiciliares, resíduos comerciais e de serviços (grandes geradores) e resíduos de poda e varrição provenientes de limpeza pública (DEMAJOROVIC, 1995; BRASIL, 2010). Considerando-se o resíduo orgânico é a fração orgânica compostável presente nestes materiais, ressaltando-se que, em um mesmo período de tempo, nem todos os resíduos orgânicos são passíveis de compostagem, como madeira tratada, borracha e couro, por exemplo.

Por outro lado, a UFPE (ANÁLISE, 2014) apresentou um estudo interessante relevante foi conduzido pela instituição com aporte financeiro do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) propõem estabelecimento de rotas tecnológicas diferenciadas para municípios em função da faixa de população e ponderando à implantação de uma rota objetiva de coleta seletiva de materiais recicláveis e outra específica, dentre as quais contempla a compostagem.

Diante do cenário apresentado anteriormente, por diversos autores (D'ALMEIDA; VILHENA, 2010; SILVA et al., 2009; FEHR, 2006; DEMAJOROVIC, 1995), no presente artigo aborda-se a contribuição de três estudos de casos no tema realizados pela Embrapa e parceiros, nos quais oferecem um auxílio à gestão pública de resíduo sólido domiciliar, ou seja, o primeiro traz uma visão integrada de gestão de resíduos sólidos urbanos com adoção da compostagem e a utilização na agricultura de proximidade empregando-se às técnicas de modelagem e de sistema especialista (inteligência artificial); no segundo apresenta-se uma avaliação de sistema de compostagem aeróbica e reciclagem considerando-se a qualidade de composto e a infraestrutura local do tratamento do resíduo sólido urbano domiciliar (análise de quadrantes) e o último caso, trata-se da seleção de indicadores: técnico-econômicos (treze), sociais (dez) e ecológicos (doze) realizando-se à análise multicritérios.

Modelos de gestão do resíduo sólido domiciliar adaptado às novas prioridades da política ambiental

O direcionamento da gestão de resíduo sólido no município está descrita na Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei 12305/2010 (PNRS), inclui a coleta, tratamento e a disposição adequada de todos os subprodutos e produtos finais do sistema econômico, tanto no que se refere ao resíduo sólido convencional, como ao resíduo tóxico e/ou patogênico.

Nos últimos anos, 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 e preocupar-se a persistência dos seus componentes no ambiente. Embora, não exista uma unanimidade sobre a terminologia e os elementos membros desse macrosistema.

Os novos objetivos e princípios da política ambiental é expressa na PNRS, conseqüentemente, o estabelecimento de novas prioridades da gestão de resíduos sólidos em nível internacional implicam uma mudança radical nos processos de coleta e disposição 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 impacto dos produtos e serviços sobre o meio ambiente e a saúde pública e também Informação sobre os ciclos de vida e etapas dos produtos; b) o princípio da prevenção: optando-se pela precedência das soluções de redução, reutilização e reciclagem às formas de disposição final; neste 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 à saúde humana e o meio ambiente.

Em contraposição aos antigos sistemas de tratamento desses resíduos, que tinham como prioridade a disposição destes, seja de forma linearmente dispostos em aterros ou lixões (“livrar se do lixo”) e mais recentemente, contemplando uma reciclagem parcial da fração seca desse material, mas com enfoque no retorno econômico. A coleta seletiva é importante na gestão municipal e também requer 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 produzidos. Mas deve-se destacar que o material reciclável representa entre 15% a 20% do lixo produzido no Brasil.

Nos últimos anos, deve-se ter como prioridade um *ecological cycle management* (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 disposta, menor. O gerenciamento sustentável dos resíduos sólidos pressupõe a redução da carga destinada a aterros, especialmente pela compostagem da fração orgânica. A compostagem da fração orgânica é um processo biológico no qual os resíduos putrecíveis vão se degradando e se estabilizando em um novo produto com características físico, química e biológica distintas dos resíduos iniciais. Esse processo pode ser acelerado nas usinas de compostagem, onde o produto final denomina-se composto, cujo produto resultante é uma substância escura, uniforme, com aspecto de massa amorfa, rico em partículas coloidais, que lembra ao “húmus”. Tal material, estabilizada a sua fração orgânica, pode ser utilizado na agricultura, mas requer um controle dos valores máximos aceitáveis para os metais pesados e patogênicos.

Dentro do cenário de sustentabilidade econômico-ambiental para a agricultura próxima aos centros urbanos, há potencialidade para a produção de matérias-primas agrícolas renováveis e seus derivados a partir de utilização de compostos orgânicos. O processo de compostagem pode estar inserido em diferentes experiências nos municípios organizado em modalidades, em função do tipo de gestão, em dois grupos principais: compostagem centralizada (Unidade de reciclagem/triagem e compostagem por município ou consórcio intermunicipais) e a compostagem descentralizada (compostagem domiciliar, compostagem comunitária, compostagem institucional e pátios de compostagem urbana).

De acordo com Demajorovic (1995), as novas prioridades da atual política de gestão de resíduos sólidos incorporam a dimensão da sustentabilidade por duas razões principais, ressaltado no direcionamento da política pública (Lei nº 12.305/10), seja na instituída Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS ou na Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo - PERS. Para tanto, primeiro, é possível minimizar o processo de degradação ambiental antes que isso ocorra, à medida que se evita a produção de determinados resíduos, reaproveita-se parcela destes e “*inertiza-se*” o restante, o que deve ser entendido como disposição final em aterro sanitário. Em segundo, ao gerenciar a produção de resíduos sólidos em todas as fases do sistema econômico, e não apenas se concentrando no tratamento final destes, a atual política de gestão de resíduos sólidos tem como objetivo garantir, em longo prazo, uma estabilização da

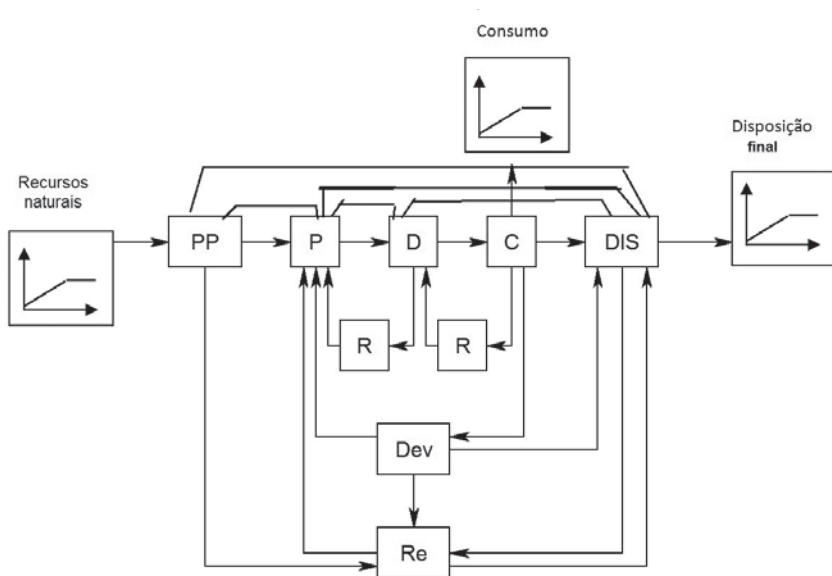


Figura 1. Modelo de gestão de resíduos sólidos adaptados às novas prioridades da política ambiental (Demajorovic, 1995 adaptado de G. VOGEL). PP= Produção Primária; P = Produção; D = Distribuição; R = Reciclagem; RE = Reutilização; C = Consumo; Dev = Devolução; DIS = Disposição.

Dentre os empreendimentos licenciados para fazerem compostagem de resíduos orgânicos no Estado de São Paulo, cadastrados no banco de dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2013), foram classificados como experiências centralizadas e são divididos em dois grupos: usinas de triagem/Reciclagem e compostagem (URC) e usinas de adubo orgânico (UAO), sendo o foco do artigo a primeira nas quais se aplicaram os três estudos de casos que serão apresentados na sequência.

Gestão municipal de resíduos sólidos: Contexto do Sistema Inteligente para Recomendação do Composto de Lixo Urbano na Agricultura (SIRCLUA)

O sistema de Gestão Municipal de Resíduos Sólidos é composto de quatro subsistemas: Populacional, Coleta, Disposição, Tratamento e Agrícola. Estes subsistemas são representativos de município típico do interior do Estado de São Paulo e, além disso, todos estão inseridos dentro de um escopo socioeconômico, respeitando-se a capacidade de suporte ambiental do local para uma agricultura sustentável.

A Figura 2 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: populacional, coleta, tratamento

e disposição final, os retângulos de bordas retas representam os processos (de subsistema ou sistema), as setas representam os fluxos entre os elementos dos sistemas. O retângulo cinza representa sistema especialista. Quanto aos subsistemas de gestão municipal tem-se que:

- ✓ Subsistema *Populacional* envolve os processos de consumo, o qual é influenciado pelos fatores hábito alimentar e poder aquisitivo, de expansão populacional e de geração de resíduos domésticos;
- ✓ Subsistema *Coleta* compreende os processos de coleta seletiva e/ou não seletiva, destinando os resíduos para outros subsistemas, de acordo com a possibilidade de seu tratamento ou não;
- ✓ Subsistema *Disposição* pode destinar os resíduos sólidos para lixões, aterros sanitários ou incineradores dependem da estrutura existente no município;
- ✓ Subsistema *Tratamento* recebe os resíduos sólidos tanto do subsistema Coleta como diretamente do Subsistema *Populacional* - quando o cidadão leva os resíduos diretamente para tratamento.

Quanto ao subsistema *Tratamento* contém o processo de compostagem que gera a partir da fração orgânica dos resíduos sólidos o composto de lixo urbano (CLU) que faz interface com sistema agrícola. Outro processo deste subsistema é de avaliação da qualidade do composto. Se as características químico-microbiológicas do composto estão fora dos padrões para permitir o uso agrícola, este composto é descartado e enviado para o Subsistema *Disposição*. Se as características são adequadas para uso agrícola, o composto será utilizado pelo sistema *Agrícola*. Ainda, este subsistema contém o processo de reciclagem e de reutilização que podem retornar resíduos tratados para o subsistema *Populacional*.

Neste contexto de gestão de resíduos sólidos e seus subsistemas integrados, o sistema especialista *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*, permitindo elaborar recomendação de uso agrícola do composto de acordo com as suas características químico-microbiológicas, as características de fertilidade do solo da propriedade rural e o tipo de cultura. O *SIRCLUA* deverá alimentar uma base de dados de recomendações de uso agrícola do CLU. Esta base poderá ser a fonte para novas aplicações de suporte à tomada de decisão, como, por exemplo, análise da distribuição geográfica de usinas, análise de onde, como e quando o CLU está sendo usado na agricultura, subsidiando o monitoramento e acompanhamento da segurança ambiental e da segurança alimentar (SILVA et al., 2002).

Na Figura 2 também nota-se que qualquer mudança em um dos componentes do sistema levará a uma série de consequências e respostas dos demais (SILVA et al., 2009). Tal mecanismo explica porque a qualidade do composto de lixo para a agricultura é reflexo de uma série de fatores diversos, como a coleta seletiva, hábito alimentar da população e o tipo de usina de compostagem e reciclagem (SILVA et al., 2009). O enfoque *sistematizado*, abordagem adotada no estudo de caso, permite planejar e equacionar quimicamente (1) o composto (húmus), que é fruto do tipo de coleta (subsistema Coleta) e da composição do lixo do bairro (Subsistema Populacional) e do próprio processamento (Subsistema

Tratamento), (2) o solo aonde a agricultura vai se desenvolver e (3) a exigência nutricional da cultura para se obter um produto final (alimento – resultante no Sistema Agrícola), com uma adubação adequada e balanceada. Em outras palavras, no sistema Agrícola a pesquisa viabilizou a utilizar a matéria orgânica estabilizada (similar ao húmus) produzida na compostagem (Subsistema Tratamento) para melhorar a qualidade da agricultura, em termos de produção e qualidade dos produtos em si, mas sem risco ambiental.

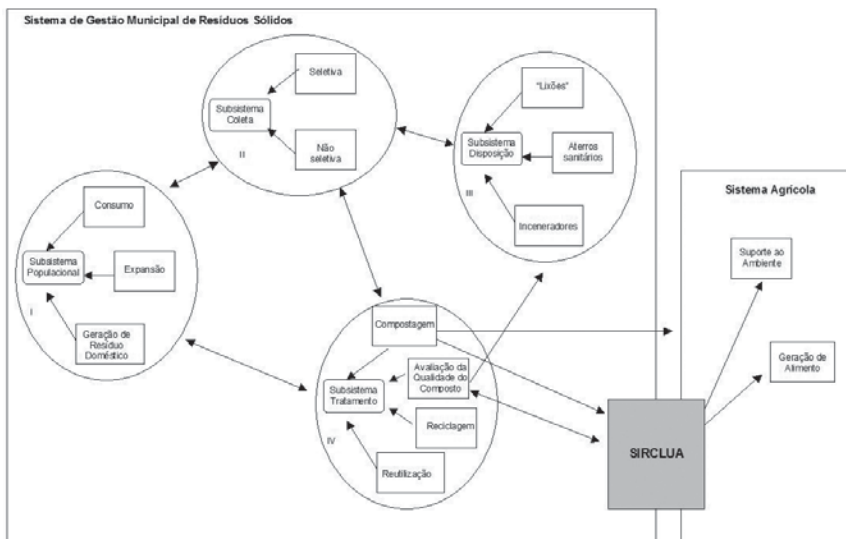


Figura 2. Relações interativas acerca dos diferentes subsistemas na gestão pública municipal do lixo.

Entretanto, o composto de baixa qualidade que não é adequado a agricultura deve ser enterrado no próprio aterro (Subsistema Disposição), porque o resíduo sólido urbano é problema de competência de saneamento ambiental, de responsabilidade do governo municipal. Todavia, na medida em que a fração orgânica sofre a compostagem aeróbica, o composto de resíduo sólido urbano orgânico tornar-se passível de ser registrada como produto “fertilizante orgânico” classe C, conforme estabelecido pela Instrução Normativa (IN) nº 25 de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), isto é, o que era um problema torna-se produto com valor agregado e requer registro do composto de resíduo sólido urbano orgânico como fertilizante orgânico classe C. Veja que o retorno dos alimentos produzido pela adubação com composto de lixo nas lavouras, ao retornar no abastecimento dessas *culturas agrícolas* à população (Subsistema Populacional), tornando o sistema cíclico - na figura, representado pela seta tracejada (DEUS *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2002a).

- Estudo de caso - sistema especialista: compostagem e agricultura

Por muitos anos, 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. Existem também lacunas na Legislação sobre orientação de uso desses CLU na agricultura e sobre a definição de critérios para garantir a segurança agroalimentar, ao meio ambiente e a qualidade dos produtos agrícolas.

Neste cenário, um grupo de pesquisadores paulistas de várias instituições (Embrapa, IAC, ESALQ/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 (húmus) ao solo, aonde a agricultura vai se desenvolver e as necessidades para nutrir as plantas para se obter um resultado final com adubação coerente com a produtividade e qualidade dos produtos almejados pelos agricultores. Deste modo, ocorre uma melhoria das condições físicas e químicas do solo e, associado com adubos minerais, proporciona melhor aproveitamento dos nutrientes, trazendo reflexos na produtividade e qualidade dos produtos finais das lavouras, como nota-se em Silva et al. (2002b). Todavia, a questão da acumulação de materiais potencialmente tóxicos nas áreas agrícolas pela aplicação do CLU é considerada e fundamenta-se na prevenção de impactos ambientais. Tal questão, que pode ser apoiada em sistemas informatizados baseados no conhecimento do especialista humano e disseminada regionalmente a partir da usina de compostagem de lixo.

Esse grupo de pesquisadores desenvolveu metodologia para o uso agrícola do composto de lixo urbano (CLU) apoiado em auxílios à pesquisa fornecidos pela Fapesp (Vasconcelos, 2003). Esta metodologia está fundamentada nos processos: tipo de coleta de lixo e maturidade do CLU, fatores de restrição ambiental e manejo agrícola adequado por cultura. Obtiveram-se resultados experimentais para as algumas culturas e os mesmos agrupados, porém exigências nutricionais similares: hortaliças (alface, chicória e rabanete); arroz e feijão; cana-de-açúcar; triticale, milho, mandioca e aveia. O conhecimento gerado está registrado em Circular Técnica da Embrapa (SILVA et al., 2002b).

Tais conhecimentos destes pesquisadores buscando-se difundir pelo meio mais eficiente e abrangente possível optaram-se pela utilização de tecnologias de Sistema Especialista (SE). O uso de ferramentas computacionais para, dado o esforço de agregar o conhecimento de especialistas para facilitar a sua difusão desses por meio de ferramentas computacionais não é novidade na agricultura, porém a sua adaptação para agregar conhecimento sobre o é. Neste trabalho, a novidade é a difusão do conhecimento sobre o uso agrícola de CLU. A inserção de novos conhecimentos na base 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. Para tal, necessita do estabelecimento de um conjunto de regras que representam o conhecimento dos especialistas. O objetivo deste protótipo foi validar a base do conhecimento e verificar a potencialidade de transferência dos resultados de pesquisa para os produtores e os intermediários da usina de compostagem via SE. 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 o diagnóstico da qualidade de lote de CLU a partir de dados de análise físico-química e microbiológica de amostras coletadas durante o período de maturação e a recomendação de uso agrícola do CLU a partir de dados sobre a composição do solo da propriedade rural, o tipo de cultura e o lote de CLU disponível. As regras foram extraídas de diversas pesquisas experimentais e de avaliação químico-microbiológica do CLU. Tal processo de engenharia gerou a base de conhecimento e as regras para construção de um protótipo do sistema especialista. A construção deste protótipo de SE envolveu a definição dos processos de:

- a) diagnóstico da qualidade do CLU: interface com usuário para coleta dos fatos (características físico-químicas de um dado lote de CLU); obtenção do diagnóstico; e formatação e apresentação do relatório do diagnóstico da qualidade para uso ou não na agricultura;
- b) recomendação de manejo do CLU na lavoura: interface com usuário para coleta dos fatos (dados propriedade rural que usará o CLU como características do solo, localização e tipo de cultura; dados de um dado lote de CLU); obtenção da recomendação; e formatação e apresentação desta recomendação.

A Figura 3 apresenta um resumo dos processos apresentados acima e como eles se interagem. Estes processos representam o contexto do protótipo do SE construído. O protótipo do SE identificou novos requisitos para transferência efetiva de conhecimento para usuários da usina de compostagem. Iniciou-se, então um projeto com o objetivo de construir um produto de software denominado Sistema Inteligente para Recomendação de Composto de Lixo Urbano na Agricultura – SIRCLUA, que deverá utilizar tecnologias de SE e novos recursos da área de Tecnologia de Informação para implementar as funcionalidades do protótipo de uso acadêmico e incorporar esses novos requisitos para:

- Tornar mais dinâmico o processo de atualização da base de conhecimento e a colaboração entre os especialistas das distintas instituições, que vai sendo aprimorada ao longo do tempo;
- Suprir parcialmente a carência, pela falta de legislação brasileira, em relação a normas e critérios, para se aplicar corretamente o CLU na agricultura;

- Facilitar o acesso dos usuários das usinas produtoras do CLU aos conhecimentos de especialistas sobre o uso correto desse produto, que permitiria uma aplicação do CLU em adubação, diminuindo riscos ambientais;
- Permitir a obtenção de resposta de qualidade com rapidez e consistência na tomada de decisão sobre o uso do CLU. Deste modo, o conhecimento do pesquisador torna-se efetivo para promover a melhoria da qualidade do CLU produzido por uma usina de compostagem e do manejo deste material nas lavouras.

O SIRCLUA deverá ser construído em Plataforma Web e compreenderá a organização da Base de Conhecimento, por meio da geração de regras; a construção de um módulo de tratamento de requisições de usuário recebidas via Internet e transformadas em fatos sobre o problema que será resolvido; e, a definição de uma máquina de inferência, a qual combina os fatos com as regras da Base do Conhecimento para chegar às conclusões sobre o problema. As conclusões do problema (o uso ou não do CLU) serão formatadas em recomendações que são armazenadas em uma base de dados e também enviadas para o usuário solicitante, atividades realizadas pelo módulo de tratamento de requisições.

- Funcionalidade do SIRCLUA

O protótipo do SIRCLUA foi desenvolvido usando o MS Visual Basic e usando o banco de dados MS Access, um protótipo do Sistema de Recomendação de uso do CLU em solo Agrícola, com o intuito de elucidar a interface do usuário do sistema de uma maneira amigável e validar suas funcionalidades junto aos especialistas de CLU. O CLU é separado nas usinas por lotes chamados também de "leiras", e o cadastro e a análise dentro do sistema é de acordo com esses lotes, que podem acontecer em momentos distintos. Na Figura 4, tem-se a visualização da tela de cadastro do CLU, onde o usuário cadastra o composto e insere seus atributos físicos e químicos, se a coleta foi seletiva ou não, a data de início da compostagem, data de amostragem, responsável técnico pelo cadastro do CLU, para que com todos esses dados o sistema analise e recomende o uso. Tal sistema traz como resultado a recomendação de uso do CLU avaliado, verificando o tipo de solo, sua composição física e o tipo de cultura que se irá plantar. Nesse cadastro o usuário insere os dados da propriedade que está adquirindo o composto e o sistema combinando à avaliação do CLU e os dados do solo e da cultura da propriedade faz a recomendação de forma correta. O resultado de recomendação de uso do composto é mostrado na Figura 5, está disponível no site: https://www.e-science.unicamp.br/sisda/projetos/projetos_projcompleto.php?id_projeto=218, onde o sistema combina a avaliação do CLU com os dados da propriedade que deseja adquiri-lo, assim ele recomenda para o tipo de cultura escolhido o composto poderá ser usado.

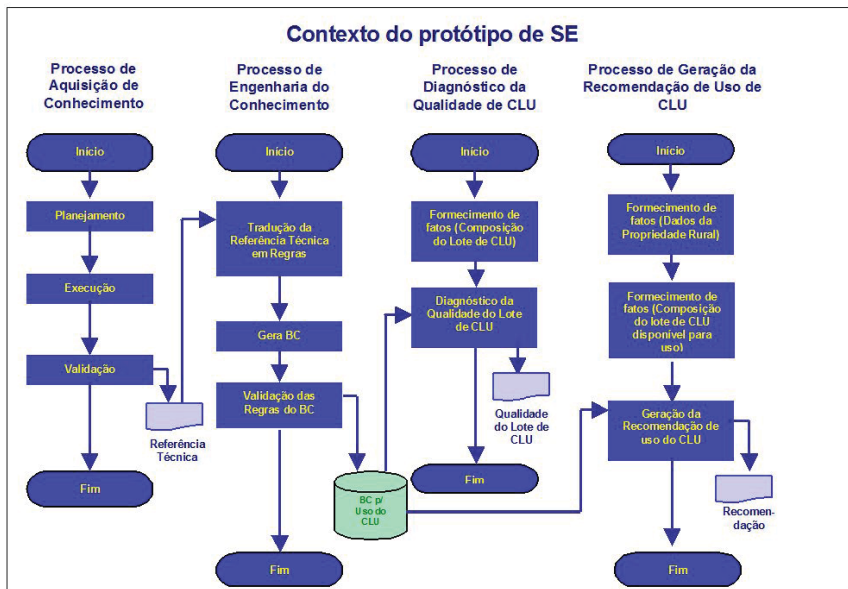


Figura 3. Contexto do protótipo de SE: processos de geração, de uso agrícola e de difusão do conhecimento sobre composto de lixo urbano (Silva et al., 2009).

SIRCLUA - Sistema Inteligente de Recomendação de Composto de Lixo Urbano na Agricultura - [Cadastro de Composto de L...

Cadastro CLU Cadastro PA Qualidade Recomendação Sobre Encerrar

Cadastrar Alterar Cadastro Excluir Cadastro

Preencha os campos e clique em Cadastrar. Campos com * são obrigatórios.

Informações Gerais

Unidade de Composagem*

Tipo de Coleta* Seletiva Não Seletiva Cidade*

Código do Lote do CLU* Bairro*

Descrição do Lote do CLU

Lotes de CLU já cadastrados:

C2
D31
D761
G853
H51
H643
M2
R122

Análise do Composto de Lixo

Data de Início da Composagem* Dia Mês Ano

Responsável Técnico da Usina* Seleccione ou escreva o nome do Res

Data da Amostragem* Dia Mês Ano

Nome do Laboratório* Seleccione ou escreva o nome do Lab

Presença de Patógenos

Coliformes Fecais NMP/g ST

Salmonela sp NMP/kg

Helminhos NOV/g

Metais Pesados

Arsênio (As) mg / kg

Cádmio (Cd) mg / kg

Zinco (Zn) mg / kg

Cobre (Cu) mg / kg

Chumbo (Pb) mg / kg

Mercúrio (Hg) mg / kg

Cromo (Cr) mg / kg

Níquel (Ni) mg / kg

Nutrientes

Nitrogênio Total (N) g / kg

Fósforo (P) g / kg

Potássio (K) g / kg

Cálcio (Ca) g / kg

Magnésio (Mg) g / kg

Sódio (Na) g / kg

Características Físico-Químicas

pH

Relação C/N 1:

Matéria Orgânica Total g / kg

Teor de Umidade

Inertes %

Granulometria % (38 mm)

Granulometria % (25 mm)

Alterar Cadastro Excluir Cadastro

Figura 4. Visualização da tela de cadastro do composto de lixo urbano-CLU.

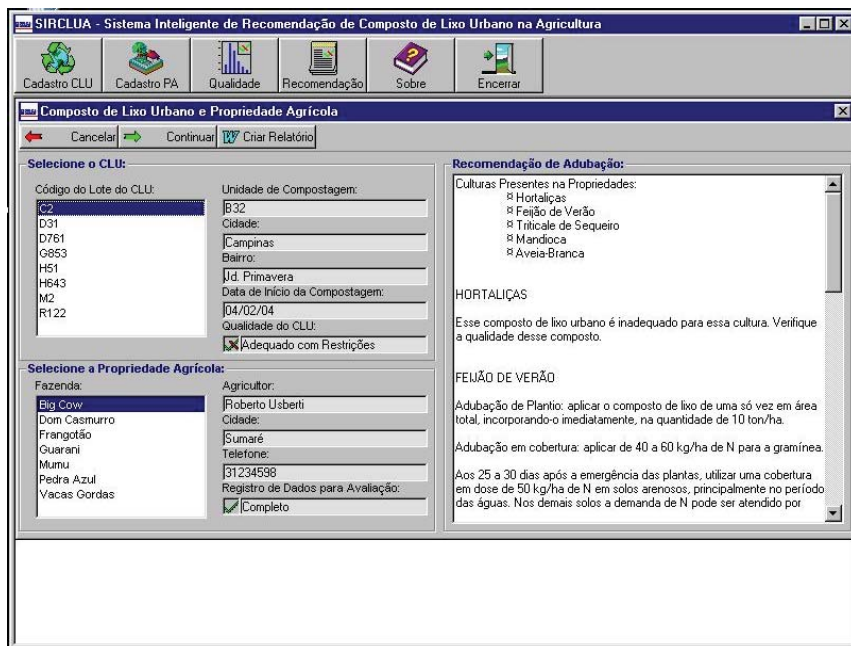


Figura 5. Resultado de recomendação de uso agrícola do composto de lixo urbano pelo software SIRCLUA

Avaliação de Unidades de Reciclagem/Triagem e Compostagem (URC) do Estado de São Paulo pelos critérios do SIRCLUA e técnica dos quadrantes

Na análise por grupos tem-se as comparações (relação) entre a infraestrutura de cada usina de compostagem de lixo e a qualidade do composto por eles gerados, como estabelecido por SILVA *et al.* (2009). O critério utilizado para agrupar as respectivas usinas foi o de quadrantes. Nesse tipo de classificação foi levado em consideração não somente as estruturas ou tipo de processo de cada usina (Barreira, 2005), mas também a qualidade do composto através dos parâmetros analisados. Na Tabela 1, é apresentada a classificação dos grupos em termos de quadrantes. Para se obter as comparações desejadas conforme descritas no objetivo deste trabalho, as usinas foram agrupadas conforme a infraestrutura, ou seja, de acordo com o IQC e com a qualidade do composto. Portanto, tem-se o agrupamento apresentado na Tabela 2.

Tabela 1. Classificação dos grupos das usinas de compostagem dispostas em quadrantes.

Grupo	Agrupamento em Quadrantes	Classificação
A	1	Infraestrutura e Composto Alto
B	2	Infraestrutura Alta e Composto Baixo
C	3	Infraestrutura Baixa e Composto Alto
D	4	Infraestrutura e Composto Baixo

Tabela 2. Agrupamento das usinas estudadas conforme a estrutura e a qualidade do composto de lixo produzido no Estado de São Paulo.

Municípios	Grupos
Assis – trituradores ou moinhos Garça – peneiras rotatórias Parapuã – peneiras rotatórias S.S. Dos Campos – Dano Uru – peneiras rotatórias	A – Boa infra-estrutura e alta qualidade do composto
Martinópolis – peneiras rotatórias S.J. Do Rio Preto – peneiras rotatórias Tarumã – trituradores ou moinhos	B – Boa infra-estrutura e baixa qualidade do composto
Bocaina – trituradores ou moinhos Itatinga – peneiras rotatórias Oswaldo Cruz – não possui tratamento	C – Baixa infra-estrutura e boa qualidade do composto
Adamantina – peneiras rotatórias P. Bernardes – peneiras rotatórias	D – Baixa infra-estrutura e baixa qualidade do composto

Qualidade dos compostos de lixo

Anualmente é divulgado pela CETESB o IQC – Índice de Qualidade do Composto – de cada usina de compostagem do Estado de São Paulo, cujas instalações estejam em pleno funcionamento. Conforme apresentada na Tabela 3, são descritos os valores do IQC correspondentes a essas usinas. O IQC tem por objetivo retratar as características do composto maturado, ou seja, pronto para ser comercializado e aplicado no solo. Esse índice por sua vez, mesmo sendo utilizado como padrão de referência, precisa ser melhorado. Alguns parâmetros de extrema importância na composição do composto são desconsiderados (patógenos, mercúrio, cromo, entre outros), demonstrando a fragilidade e não representabilidade desse índice.

Tabela 3. Evolução dos IQC's das usinas de compostagem do Estado de São Paulo – Período de 1997 a 2005.

MUNICÍPIOS	IQC								
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Adamantina	5,8	5,8	4,6	4,6	2,8	2,9	3,0	3,6	6,4
Assis	6,7	7,2	7,6	-	7,6	6,9	6,9	6,8	6,1
Bocaina	-	-	-	-	-	6,6	5,6	4,9	6,1
Garça	6,2	7,1	5,7	5,6	6,5	6,7	7,9	8,1	8,1
Itatinga	-	4,6	6,7	7,4	-	7,4	7,6	5,8	6,2
Martinópolis	-	-	-	-	-	6,9	6,3	6,3	5,8
Oswaldo Cruz	3,7	3,0	3,6	3,6	1,9	3,3	3,5	3,9	4,3
Parapuã	-	7,0	-	6,7	6,5	7,1	7,1	6,6	6,8
Presidente Bernardes	-	-	-	7,2	8,7	8,7	6,6	5,1	5,6
São José dos Campos	9,9	9,7	9,6	8,9	8,9	9,7	9,6	9,7	9,6
São José do Rio Preto	8,4	8,4	8,4	8,6	8,1	8,3	9,1	9,1	9,9
Tarumã	8,1	8,1	7,9	8,1	8,1	8,1	8,1	7,9	8,1
Uru	-	-	-	8,4	8,2	7,4	6,9	6,9	7,1

Fonte: CETESB (2006)

Para se conseguir um índice mais confiável, alguns critérios ou regras deverão ser inseridos, previsto no SIRCLUA, entre eles estão:

- **Tipo de coleta do lixo:** O composto proveniente do processo de compostagem, sendo derivado de coleta de lixo, feito de forma não seletiva, deverá ser considerado inadequado a ser aplicado no solo.
- **Contaminação por patógeno:** O composto pode ou não estar livre de certos microrganismos responsáveis pela sua contaminação. Alguns patógenos como: coliformes fecais, Salmonella sp. e helmintos precisam estar de acordo com o limite estabelecido para agricultura, caso isso não ocorra o CLU (composto de lixo urbano) deverá ser encaminhado para aterros.
- **Limites permitidos de metais pesados:** Limites para metais pesados já foram estudados e definidos para compostos Silva et al. (2002) e modificado em BRASIL (2009). Caso o teor de algum metal pesado ultrapasse o limite, o composto deverá ser inadequado a ser aplicado no solo.

Desde de 2006, a legislação em vigor para comercializar o composto de resíduo sólido urbano orgânico - CLU é necessário registrá-lo como fertilizante orgânico classe C (BRASIL, 2009), o composto deve apresentar as seguintes características, em porcentagem mássica (% m/m, expressos em base seca, exceto a umidade): umidade determinada a $65^{\circ}\text{C} \leq 50\%$, nitrogênio total $\geq 0,5\%$, carbono orgânico $\geq 15\%$, capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7 conforme declarado, valor de pH, em solução de CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ $\geq 6,5$, relação C/N ≤ 20 , relação CTC/C conforme declarado e outros nutrientes conforme declarado.

Por outro lado, os nutrientes cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cloro (Cl), cobalto (Co), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), molibdênio (Mo), silício (Si) e de zinco (Zn), quando declarados, devem respeitar os seguintes teores mínimos garantidos, em % (m/m, expressos em base seca): 1,0; 1,0; 1,0; 0,03; 0,1; 0,005; 0,05; 0,2; 0,05; 0,005; 0,005; 1,0; 0,1; respectivamente.

Quando a metodologia para for coletados e feito as suas análises laboratoriais para caracterizá-lo, como fertilizantes orgânicos devem seguir protocolos análogos aos descrito no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organo-minerais e Corretivos, do MAPA (BRASIL, 2006 e 2009) ou do Manual de Análise Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes da Embrapa (Silva, 2009).

Os resultados das análises químicas têm por finalidade demonstrar a qualidade dos compostos, determinando seu valor como fertilizante. Além de permitir a interpretação dos parâmetros dentro dos limites exigidos pela Legislação Brasileira, incluindo as tolerâncias estabelecidas em cada caso, os resultados analíticos podem garantir a qualidade do produto, aumentando seu poder de venda. Em algumas usinas estudadas, os compostos são regularmente submetidos a análises químicas, como, por exemplo, nos municípios de Bocaina, Martinópolis, Osvaldo Cruz, São José dos Campos, São José do Rio Preto, São Paulo e Uru. Para os agricultores que compram esses adubos, esse tipo de resultado é de extrema importância, pois garante se o fertilizante possui ou não nutrientes balanceados e em quantidades suficientes por isso é fundamental atender as normas da Instrução Normativa (IN) nº 25 do MAPA, que enquadra como fertilizante orgânico classe C (BRASIL, 2009).

Para fins de simplificar o entendimento sobre os valores das análises químicas, os resultados serão divididos em: maturação do composto, nutrientes e metais pesados, os quais e serão discutidos separadamente. Os resultados das análises químicas para os compostos das Usinas de Compostagem do Estado de São Paulo são apresentados a seguir:

- Maturação do composto

A maturação do composto dá-se pelos resultados do índice de pH, relação C/N e CTC, os quais indicam se a decomposição da matéria-orgânica atingiu níveis desejáveis para que o composto possua certos padrões de qualidade. Embora não represente o nível de maturação do composto, o teor de umidade será incorporado para a discussão, assim como a quantidade de matéria-orgânica (Tabela 4).

Tabela 4. Médias para as análises químicas para a maturação e nutrientes dos compostos das usinas de compostagem do estado de São Paulo (2003/2004).

Municípios	Maturação do Composto						nutrientes			
	pH	CTC mmo _l / dm ³	C/N	MO (%)	Umidade (%)	N total g/kg	P mg/kg	K mg/kg	Ca g/kg	Mg g/kg
Adamantina	7,64	27,50	23,13	20,82	28,07	6,26	279	3110	23,54	2,82
Assis	7,34	31,25	18,12	38,21	39,66	8,16	483	3801	31,66	3,49
Bocaina	7,24	29,26	15,40	28,98	32,96	10,45	462	3700	34,63	2,26
Garça	7,89	29,48	18,41	19,34	31,64	5,81	239	2808	23,95	2,42
Itatinga	7,98	32,12	18,93	24,34	38,70	6,52	369	2805	28,57	2,65
Osvaldo Cruz	7,53	25,85	18,49	13,86	26,18	3,47	187	1507	17,46	1,88
Parapuã	8,17	30,37	18,52	19,60	22,92	5,69	483	3805	21,23	3,01
Presidente Bernardes	7,79	28,71	14,21	18,39	30,85	6,31	430	2806	35,44	2,91
S.J. dos Campos	7,33	25,41	18,32	25,82	27,23	6,08	434	3015	23,17	2,25
S.J. do Rio Preto	8,05	31,68	29,49	32,38	31,17	6,36	429	4311	30,24	3,48
Tarumã	7,95	31,57	14,61	21,82	18,02	7,24	413	4118	28,12	3,33
Uru	7,92	25,19	18,26	11,19	22,22	3,45	206	2206	25,56	1,84

Fonte: BARREIRA, 2005.

De acordo com os padrões da Legislação Brasileira que exige, para a comercialização do composto, valores de no mínimo 6,0 com tolerância até 5,4 para

pH, todos os grupos estão dentro do limite. A capacidade de troca catiônica (CTC) é um parâmetro que indica, principalmente, o grau de estabilidade do composto (KIEHL 1998). A Legislação Brasileira delimita o valor de 40% com tolerância até 44%. O conhecimento deste parâmetro indica o grau de decomposição do composto, considerando o valor de 18/1 fertilizante semicurado e, abaixo desse valor, até 10/1, para fertilizante curado (Silva et al., 2009). O uso de composto na atividade agrícola com relação C/N fora desses padrões é prejudicial para as culturas, já que não está totalmente curado, causando uma competição por nutrientes para o término da decomposição. Analisando os dados obtidos e considerando as normas da Legislação Brasileira, têm-se que os compostos de Assis, Bocaina, Garça, Itatinga, Oswaldo Cruz, Parapuã, São José dos Campos e Uru estão dentro dos limites exigidos.

As análises de nutrientes presentes nos compostos dão a noção sobre o seu valor como fertilizante. Os valores de N para os compostos estudados e apresentados foram na maioria dentro do preconizados pela legislação, em comparação por usinas quanto para os grupos. Quanto ao fósforo, os maiores teores foram encontrados nos compostos de Assis, Bocaina, Parapuã, Presidente Bernardes, São José dos Campos, São José do Rio Preto e Tarumã (Barreira, 2005) Considerando os valores propostos por KIEHL (1985), todos os compostos estão com valores muito abaixo de 500 mg.kg⁻¹.

- Metais pesados

De acordo com a Legislação Brasileira, que estipula valores limitantes apenas para alguns metais, como nota-se na Tabela 5, verifica-se que todos os grupos apresentaram valores abaixo dos limites estipulados por BARREIRA, 2005.

Para se utilizar como base comparativa os resultados de BARREIRA (2005) com valores da literatura (ABREU JUNIOR et al, 2006) ,que em seu trabalho testou-se métodos para avaliar metais pesados em compostos produzidos nos municípios de Mococa e Adamantina, no Estado de São Paulo, encontraram teores de Cu (75 a 119 mg kg-1) e Zn (178 a 354 mg kg-1), inferiores aos dos observados na Tabela 6.

A autora observou que os teores de níquel, o cádmio e o chumbo estão abaixo do nível de detecção, não representando problema em qualquer legislação que se aplique. É fundamental fazer a avaliação correta dos metais pesados no processo de compostagem e especialmente no produto que se deseja comercializar para agricultores (SILVA et al, 2010ab, 2006ab e 2007ab), porque se não houver controle poderia ocorrer o risco da passagem de metais do composto para solo (SILVA et al., 2006) e à planta (SILVA et al., 2007), depende da forma química de cada metal esteja presente que foi mensurado nos estudos de Silva et al., (2013) e Chitolina et al. (2012). Observa-se que os baixos níveis desses elementos nos compostos analisados podem ser explicados pela diminuição da quantidade desses metais em pilhas e baterias por meio da aplicação da Resolução n° 557/99 do CONAMA (D' ALMEIDA e VILHENA, 2000; SILVA et al., 2009).

Na prática para um composto de resíduo sólido urbano ser um produto registrado para uso agrícola, ou seja, como fertilizantes orgânicos classe C, conforme a Instrução Normativa

MAPA nº 27 de 2006 (BRASIL, 2006), os limites máximos de contaminantes admitidos são: arsênio (As) $\leq 20,00$ mg kg⁻¹, cádmio (Cd) $\leq 3,00$ mg kg⁻¹, chumbo (Pb) $\leq 150,00$ mg kg⁻¹, cromo (Cr) $\leq 200,00$ mg kg⁻¹, mercúrio (Hg) $\leq 1,00$ mg kg⁻¹, Ni $\leq 70,00$ mg kg⁻¹, selênio (Se) $\leq 80,00$ mg kg⁻¹, coliformes termotolerantes com número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS) $\leq 1.000,00$, ovos viáveis de helmintos com número por 4 g de sólidos totais (nº em 4 g de ST) $\leq 1,00$ e Salmonella sp. ausente em 10 g de matéria seca.

Tabela 5. Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos originário de lixo urbano (classe C).

Contaminantes	Valores máximos admitidos
Cádmio (mg/kg)	3
Chumbo (mg/kg)	150
Mercúrio (mg/kg)	1
Níquel (mg/kg)	70
Cromo (mg/kg)	200
Coliformes fecais – número mais provável por grama de sólidos totais (NMP/g ST)	1000
Ovos viáveis de helmintos – número por quatro gramas de sólidos totais (no em 4g ST)	1
Salmonella sp – número mais provável por grama de sólidos totais (NMP/g ST)	3

Fonte: Diário Oficial da União – Seção 1 (2004) e a Instrução Normativa MAPA nº 27 de 2006 (BRASIL, 2006).

Tabela 6. Médias para metais pesados nos compostos de lixo produzidos nas usinas paulistas.

---- Metais (mg/kg)-----							
Municípios	Cu	Zn	Al	Si	Ni	Cd	Pb
Adamantina	212	502	8848	2037	< LD	< LD	< LQ
Assis	581	889	14738	762	< LD	< LD	< LQ
Bocaina	202	750	9951	840	< LD	< LD	< LQ
Garça	448	391	12263	780	< LD	< LD	< LQ
Itatinga	157	292	12382	627	< LD	< LD	< LQ

---- Metais (mg/kg)-----							
Municípios	Cu	Zn	Al	Si	Ni	Cd	Pb
<i>Martinópolis</i>	81	217	7821	852	< LD	< LD	< LQ
Oswaldo Cruz	58	222	11031	485	< LD	< LD	< LQ
Parapuã	151	295	6991	744	< LD	< LD	< LQ
P. Bernardes	116	384	8218	963	< LD	< LD	< LQ
São .J. dos Campos	205	390	12038	1178	< LD	< LD	< LQ
S.J. do Rio Preto	405	536	8573	749	< LD	< LD	< LQ
Tarumã	193	483	31108	626	< LD	< LD	< LQ
Uru	56	177	10245	476	< LD	< LD	< LQ
Valor limite – MAPA*	---	---	---	---	70	5	150

LD: menor que o limite de detecção. LQ: menor que o limite de quantificação. Fonte: Barreira, 2005; *Brasil (2006) - MAPA Instrução Normativa DAS No. 27, de 25/06/2006.

Balanço da utilização dos compostos: pontos forte e debilidades das URCs Paulistas

Os compostos produzidos nas usinas, indiferentemente à sua qualidade, possuem diferentes formas de utilização agrícola. Segundo os dados apresentados por Barreira (2005), os compostos produzidos nas usinas estudadas têm a sua utilização mais comum na atividade de jardinagem, sendo seguida pela horta e café. Na cultura de cana-de-açúcar os compostos são utilizados após a colheita para ajudar na reestruturação do solo e, juntamente com o viveiro de plantas, tem os mais baixos índices de utilização (SILVA et al., 2009). No que diz respeito a utilização em pomar, o composto produzido em São José do Rio Preto não se limita apenas a adubar as culturas de laranja, uva e limão (BARREIRA, 2005). Após o registro no MAPA como fertilizante orgânico classe C em 2010, a URC São José do Rio Preto, o que promoveu melhoria na qualidade do composto que já promovia à URC ao primeiro grupo (Tabela 2) e mantém uma produção em torno de 60 toneladas/dia de composto orgânico tem direcionado para pastagens, jardins e outras utilizações em empreendimentos da própria empresa.

Em Garça, o composto de coleta seletiva produzido é utilizado na produção de café orgânico, agregando valor a este tipo de produto, diferenciado-o no mercado. As informações utilizadas no estudo são oriundas de questionários elaborados e aplicados por Barreira (2005) e reaplicados em 2007, as quais foram fornecidas pelos gestores das usinas que continha também outras questões relevantes que incorporam e aprofundados no terceiro estudo de caso. Quanto a questão econômica os benefícios ambientais, ressalta Barreira (2005), considera que o destino adequado dos resíduos sólidos com diminuição do material a ser aterrado, tendo como consequência o aumento da vida útil do aterro, o agregamento de valor aos materiais recicláveis e o tratamento da matéria orgânica por meio da compostagem.

Os ganhos sociais são fundamentais para viabilização da URC como será demonstrado no terceiro estudo de caso, que englobam, especialmente, a abertura de novos empregos no local, dentre outros indicadores sociais. Outro quesito em recursos humanos destacado pelos gestores das URCs de Adamantina, Garça, Osvaldo Cruz e Uru, sendo como ponto central à triagem, observados nas respostas dos questionários, considerada por eles como bem realizada pelos operadores, juntamente com o índice de recursos humanos, está a coleta diária de resíduos (Garça, Parapuã, São José do Rio Preto e Tarumã) que impede que os resíduos cheguem às usinas num estado avançado de decomposição, a qualidade do composto citado por Garça, Martinópolis, São José dos Campos e Uru e a coleta diferenciada de RSD (Garça e São José do Rio Preto). Tais aspectos sociais são considerados no estabelecimento dos indicadores sociais e ampliados no terceiro estudo por Nakajima et al (2007).

Tabela 7. Número de conformidade atendida pelo resultado analítico da qualidade do composto de lixo nas usinas de compostagem paulistas, em relação a legislação

Usinas de compostagem	Número de não conformidades	Parâmetros não conformes	Agrupamento em quadrantes
Adamantina	2	C/N, MO	4
Assis	0	NENHUM	1
Bocaina	1	MO	3
Garça	1	MO	1
Itatinga	1	MO	3
Martinópolis	2	C/N, MO	2
Oswaldo Cruz	1	MO	3
Parapuã	1	MO	1
P. Bernardes	2	C/N, MO	4
S.S. dos Campos	1	MO	1
S. J. Do Rio Preto	2	C/N, MO	2
Tarumã	2	C/N, MO	2
Uru	1	MO	1

Dando continuidade nos dados apresentados na Tabela 7, conclui-se que:

01) Usinas pertencentes ao quadrante 1:

Para as usinas de compostagem dos municípios de Assis, Garça, Parapuã, São José dos Campos e Uru, pertencentes a esse quadrante, são destacados a boa eficiência nos processos de compostagem (equipamentos) juntamente com a parte operacional bem estruturada e qualificada.

02) Usinas pertencentes ao quadrante 2:

Para as usinas de compostagem dos municípios de Martinópolis, São José dos Campos e Taramã; nota-se através das análises, que são usinas que apresentaram bons resultados de IQC – o que mostra uma boa eficiência nos processos de compostagem – porém apresentaram compostos com alguma deficiência no que tange a sua qualidade. Isso demonstra que apenas maquinária sem qualificação não é o suficiente. As análises e avaliações técnicas efetuadas em várias usinas de compostagem, levam a concluir, dentre outros fatores, que um dos principais entraves ao processo tem sido apontado amplamente pela literatura: I) falta de mão de obra capacitada e II) sucateamento da infraestrutura. Isso se comprova nas usinas em questão. É pouco frequente encontrar-se coordenando uma usina de compostagem, pessoas que tenham sido especializadas ou no mínimo treinadas para tal, sem ter, necessariamente, algum conhecimento do que fazer para produzir um bom composto, dos requisitos necessários para o controle biológico do processo. Tal aspecto operacional resulta em compostos não maturados, ressaltava a Barreira (2005). Tais desvios de processo poderiam ser evitados com facilidade utilizando o sistema SIRCLUA e atendendo-se também a legislação do MAPA, o qual foi discutido no primeiro estudo.

03) Usinas pertencentes ao quadrante 3:

Para as usinas de compostagem dos municípios de Bocaina, Itatinga e Oswaldo Cruz, ocorre exatamente o inverso das usinas do quadrante 2. Nesse caso, as usinas apresentam um composto de boa qualidade, porém apresentaram resultados baixos de IQC, o que significa que o problema está presente nos processos. Nesse caso fica nítido a ineficiência por parte de algum setor da usina (basicamente formados por recepção e expedição, usina de triagem, pátio de compostagem, beneficiamento e armazenamento), já que para diferentes usinas com o mesmo processo, foram produzidos compostos bem diferenciados. Tal fato, ocorre porque é impossível obter o composto orgânico, a partir da fração orgânica do lixo urbano, em menos de 60 dias (SILVA et al., 2002 e 2009), pois não existem equipamentos que façam composto orgânico, eles apenas auxiliam e aceleram o processo que é biológico aeróbico e que requer revolvimento periódico.

Sendo assim, a manutenção correta nessas instalações de Tratamento, são de extrema importância. Por tratar-se de tecnologia importada, como processo Dano, nem sempre adaptada às características do “lixo” (resíduo sólido domiciliar - RSD) brasileiro, existe, ainda, o agravante da ineficiência da triagem (inapropriada

para ao RSD brasileiro), o que contamina a massa de compostagem do biodigestor (processo dano), agravado pela abrasão dos fragmentos metálicos, além de resinas, tintas, entre outros problemas menores (BARREIRA, 2005). Tais aspectos operacionais na condução operacional do processo DANO e a sua influência na composição do composto estão detalhados nos trabalhos de Silva *et al.* (2005) e Abreu Junior *et al.* (2012), especialmente nas etapas de triagem primária, bioestabilizador de diâmetro interno de 3,5m e de comprimento de 28m (velocidade de rotação, originalmente, de 0,85 rpm durante o dia e a um terço à noite) e os pátios de maturação.

04) Usinas pertencentes ao quadrante 4:

Para as usinas de compostagem dos municípios de Adamantina e Presidente Bernardes pertencentes a esse quadrante, são destacados pela baixa eficiência nos processos de compostagem (equipamentos) juntamente com a parte operacional comprometida. A falta de beneficiamento do composto é apontado pelos municípios de Adamantina, Itatinga, e Presidente Bernardes, como observado por Barreira (2005). No caso de Adamantina, a mudança do pátio de compostagem para outro local, contribuirá para que o beneficiamento do composto seja realizado brevemente. Por outro lado, consta-se nas URCs Itatinga e Presidente Bernardes já possuem as peneiras para o composto, mas encontravam-se na época desinstaladas. Também foram citados, pelos gestores, a necessidade de melhorias na operação para atingir à qualidade do composto no próprio pátio (Martinópolis, Presidente Bernardes e Tarumã): I) formação de leiras mais adequadas e, II) revolvimentos mais frequentes para aumentar a oxigenação da massa de resíduo, neste caso, III) aquisição de equipamentos específicos. Já há URCs que requer à melhoria na infraestrutura (Itatinga, Bocaina e Osvaldo Cru) fazer investimentos nas instalações para reduzir à distância entre o pátio de compostagem e a peneira para beneficiamento do composto (Tarumã e Uru), como destacado por Barreira (2005). Na literatura está amplamente demonstrado a essencialidade da aeração da leira, mas na prática há falta de equipamentos adequados para revolvimento, o que demonstrando dificuldades operacionais no local, sendo na maioria realizado pelos próprios funcionários.

Deve ser ressaltado que um composto poderia ser facilmente melhorado pelo gestor dentro de uma mesma infraestrutura, como destacado por Silva *et al.* (2005), que avaliando três unidades no mesmo tipo de sistema DANO, mostraram que somente o processo original, de São José dos Campos - SP, possuía produção de composto bioestabilizado e de qualidade aceitável, desde que o material fosse mantido em pátios de compostagem com períodos superiores a 50 dias de compostagem. A etapa de bioestabilização é crucial para o processo de compostagem. Nas URCs avaliadas, os bioestabilizadores foram alterados sem critérios técnicos, sendo o resíduo mantido no bioestabilizador por apenas 2 dias, na faixa termofílica de temperatura; quando o ideal seria de até 5 dias. Após a bioestabilização, o composto era passado por uma peneira de malha de 1 cm e estocado em pilhas para venda. Portanto, a redução no teor de carbono orgânico, ao longo do tempo de 150 dias de cura, evidencia que os compostos produzidos nas três URCs não eram compostos orgânicos propriamente ditos (ABREU JUNIOR *et al.*, 2012).

Neste sentido, são importantes eventos sobre políticas públicas para melhor executar à PNRS e discutir alternativas práticas voltadas à realidade brasileira e incorporá-las na atuação municipal. Em síntese, a compostagem dos resíduos sólidos urbanos é uma alternativa estratégica em nossas condições de clima tropical e solos ácidos para a gestão pública municipal, mas requer um compromisso ambiental, agrícola e social por parte do gestor.

Seleção de indicadores de compostagem e uso agrícola por análise multicritérios

O passo final da análise multicritério é usar um procedimento de busca para definir a matriz de diagnóstico. Tal matriz contém uma classificação das preferências entre as alternativas. Para os propósitos deste trabalho, as alternativas são as unidades de reciclagem e compostagem – URC's - encontrados no processo de classificação. Os critérios são os indicadores de sustentabilidade definidos para cada domínio da sustentabilidade (NAKAJIMA *et al.*, 2007).

- Indicadores de Sustentabilidade

Para tornar todo o processo operacional, propôs-se o uso de 35 (trinta e cinco) indicadores de sustentabilidade. Os indicadores foram retirados dos questionários aplicados e agrupados em três conjuntos para cada domínio da sustentabilidade: 10 sociais, 13 técnico-econômicos e 12 ecológicos. Quanto aos indicadores técnicos teríamos: (1) aspecto geral da unidade, (2) proximidade de núcleos habitacionais, (3) acesso e condições do sistema de trânsito, (4) manutenção periódica dos equipamentos, (5) impermeabilização do pátio de compostagem, (6) tempo de compostagem, (7) peneiramento depois da cura, (8) eficiência da triagem na esteira, (9) disposição de maquinário, (10) uso de maquinário, (11) avaliação da Qualidade da URC (IQC – CETESB), (12) condições de segurança (cercamento da área e guarita) e (13) controle operacional do processo. Os indicadores sociais definidos foram: (1) treinamento do corpo técnico, (2) cooperativa de catadores, (3) acesso à informação, (4) condições e segurança do trabalho, (5) problemas de salário do funcionário, (6) condições sanitárias e de higiene da unidade, (7) problemas de saúde humana, (8) educação ambiental para escolas da região, (9) preservação da natureza e (10) percepção socioambiental do empreendimento. Os onze indicadores ecológicos foram: (1) Exalação de Odor, (2) Presença de moscas, (3) Aterro sanitário para rejeitos, (4) Tratamento e coleta de chorume, (5) porcentagem de inertes no composto, (6) produção de chorume, (7) monitoramento do composto (análises laboratoriais), (8) monitoramento da água subterrânea, (9) acompanhamento da área agrícola de aplicação, (10) possibilidade de contaminação do solo e água, (11) coleta seletiva ou diferenciada e (12) maturação do composto. Definindo as matrizes de avaliação, de prioridade e de diagnóstico - os trinta e cinco indicadores foram agregados em sete principais objetivos específicos.

Os objetivos definidos em NAKAJIMA *et al.* (2007) foram: I) Impactos Ambientais com nove indicadores; II) Práticas Operacionais com sete indicadores;

III) Infraestrutura com três indicadores; IV) Administração com quatro indicadores; V) Qualidade do Composto com três indicadores; VI) Qualidade de Vida com seis indicadores, e VII) Preocupação Ambiental com quatro indicadores.

O passo final na análise multicritério foi usar o procedimento de busca – SAW (Equação 1) para definir a matriz de diagnóstico. $U_i = \sum_j w_{ji} e_{ji}$ (Equação 1), Onde:

U_i = pontuação final; w = peso original (relativo à importância para cada critério); e_{ji} = número do critério padronizado, para i alternativa e j critério.

- Interpretação dos agrupamentos

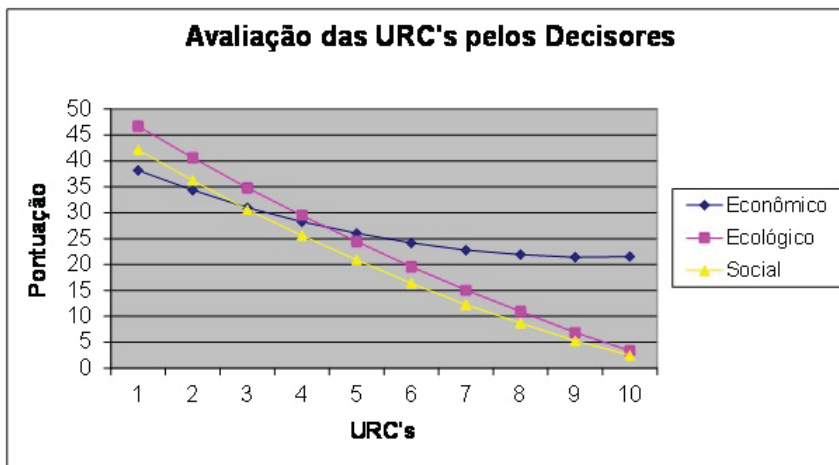
A análise agrupou quatro tipos de infraestrutura, identificados de acordo com as características dos equipamentos utilizados: (1) peneira rotatória, (2) triturador ou moinho, (3) bioestabilizador e (4) sem pré-tratamento (Tabela 3), em organização proposto por Barreira et al. (2006). Observa-se, em relação ao grupo 4, sem pré-tratamento, significa que os materiais, após triagem na esteira, são enviados diretamente para o pátio de compostagem sem sofrer qualquer pré-tratamento adicional, tais como peneiramento ou trituração. Cabe ressaltar que a dificuldade em se agrupar as URC's em tipos de processos se dá pelo fato de que, embora possua mesmo fabricante (Gavazzi, Stollmeier, entre outros), o tipo de estrutura se diferencia de uma URC para outra. De um modo geral, há predomínio do grupo 1, peneiras rotatórias, nos processos das URC's do Estado de São Paulo (BARREIRA et al., 2006). Em seguida, com 20% da preferência, estão as URC's que utilizam trituradores ou moinhos no processamento do resíduo. Os processos que adotam bioestabilizadores e não utilizam pré-tratamento, ambos com 10%, apresentam-se com apenas uma URC para cada grupo.

Os objetivos definidos por Nakajima et al (2007) foram: (1) Impactos Ambientais com nove indicadores; (2) Práticas Operacionais com sete indicadores; (3) Infraestrutura com três indicadores; (4) Administração com quatro indicadores; (5) Qualidade do Composto com três indicadores; (6) Qualidade de Vida com seis indicadores; (7) Preocupação Ambiental com quatro indicadores.

O passo final na análise multicritério foi usar o procedimento de busca utilizando-se a (Equação 1) para definir a matriz de diagnóstico. Um aspecto importante no processo de avaliação pelas matrizes é a padronização dos critérios e o escalonamento dos pesos. Ressalta-se que a interpretação das visões econômica, ecológica e social baseada nas matrizes de prioridades, ou seja, a saída dos produtos das matrizes para as três visões se organiza, exemplificando os resultados de URCs da matriz de diagnóstico administrativa e social. Observe que o uso da palavra objetivo nas matrizes de diagnóstico pode ser usado da mesma maneira que critérios.

Em uma visão mais agregada dos indicadores procedendo-se uma somatória de pontos de cada grupo – econômico social e ecológico (Figura 6), onde se observa maior sensibilidade aos indicadores ecológicos das URC pelos decisórios. De modo geral, as URC's se apresentaram em melhores condições para a visão econômica, isto é, indica melhores condições quanto aos aspectos locais, de infraestrutura

e operacionais. Ressalta-se que a visão social foi a que recebeu menor pontuação. Verifica-se que a situação social das URC's não está necessariamente associada à visão econômica, visão que obteve melhor pontuação.



Fonte: NAKAJIMA et al. (2007).

Figura 6. Resultado da avaliação de dez (10) unidades de reciclagem/triagem e compostagem (URCs) paulista pelos decisores locais nas visões econômica, ecológica e social.

Considerações finais

As técnicas apresentadas para avaliação operacional, análise de desempenho e, suficiência relativa de processos de compostagem em unidades de reciclagem e compostagem (URC) em operação no Estado de São Paulo partindo-se três estudos de casos, contribuíram à política pública (Lei nº 12.305/10 – PNRS e a Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo - PERS). No primeiro caso traz uma visão integrada de gestão de resíduos sólido urbano (incluindo a compostagem) e a agricultura de proximidade, utilizando-se de modelagem e sistema especialista validada junto URC de São José dos Campos (URBAM), a qual se conclui ser válida e eficiente no controle operacional e ambiental dos processos envolvidos no seu gerenciamento.

No segundo caso, avaliaram-se sistemas de compostagem e reciclagem (URC) considerando-se a qualidade de composto e a infraestrutura local do tratamento do resíduo urbano domiciliar que se conclui ser um aprimoramento na avaliação do URC e considerando a possibilidade de haver externalidade que um 'composto' mal maturado (qualidade do produto) poderia impactar o ambiente agrícola.

O produto final da compostagem deve ser um material estabilizado e seguro para o uso na agricultura. Vale ressaltar que a compostagem só se propõe a tratar resíduos orgânicos e que os sistemas existentes não visam gerar lucros financeiros para a agricultura, na venda de fertilizante orgânico e, sim, reduzir

o problema da sobrecarga de aterros e oferecer segurança ambiental e social à população, aumentando o seu tempo de vida útil. Portanto, a garantia mínima do cumprimento de normas (IN nº 25/2009) de qualidade para o composto do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) leva, com certeza, a um aumento da confiança dos consumidores no produto final e aumenta as possibilidades de diversificação das suas aplicações.

A questão gerencial das unidades é chave para o sucesso desse empreendimento. Porque, há URCs com o mesmo tipo de processo apresentam diferentes qualidades do composto devido a diversos fatores, como infraestrutura deficiente; utilização de equipamentos importados não condizentes com a realidade do resíduo brasileiro; alta manutenção de equipamentos e peças; processos de triagem inadequados e falta de treinamento de pessoal. Já as URCs com maior pontuação são as do grupo que utilizam peneiras rotatórias em seu processo, exceto a unidade de Presidente Bernardes. Dentre as visões, nota-se que a econômica é que apresenta a menor disparidade entre as URCs. A aquisição de peneiras rotatórias ao processo é um investimento fundamental para o sucesso do empreendimento sustentável (SILVA et al., 2009).

O método atual de avaliação baseado no Índice de Qualidade das Unidades de Compostagem (IQC) aplicado pela CETESB, não é suficiente para avaliar sistematicamente o desempenho das unidades, pois não considera, suficientemente, os parâmetros de qualidade essenciais para evitar a externalidade do produto no ambiente externo à lavoura incorporado ao Índice de Adequação do Composto para a Agricultura (IACA), no caso do composto de resíduos sólidos urbanos, que não garante segurança e pode causar impactos ambientais negativos para área agrícola de aplicação. Tal IQC mostrou-se uma avaliação objetiva para saneamento ambiental e limitada, a pontuação pelos técnicos apresentou um comportamento diferente quanto à avaliação pela análise multicritério, mesmo pela visão de critérios técnicos econômicos. No último caso, ao utilizar-se à análise multicritério foi uma abordagem válida para ampliar o entendimento dos processos das URCs, trata-se da seleção de indicadores: técnico-econômicos (13), sociais (10) e ecológicos (12), considerando outros aspectos envolvidos no sistema, como qualidade do composto para o uso na agricultura e os aspectos socioambientais. Destas três dimensões da autossuficiência, foi encontrado um valor final, indicando qual o processo “mais ajustado” entre as alternativas apresentadas, mas demonstra-se com clareza que indicadores sociais e ecológicos são sensíveis a mensurar a atuação do gestor de unidade de compostagem.

Referências

- ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013**. Sao Paulo, 2014. 112 p.
- ABREU JUNIOR, C. H.; BASSO, A. C.; CHITOLINA, J. C.; SILVA, F. C. da; BORALLI, K. Caracterização de compostos de resíduos sólidos urbanos orgânicos de unidades de reciclagem e compostagem dos municípios de São Paulo e de São José dos Campos. **Holos Environment** (Online), v. 12, p. 225-240, 2012.
- ABREU-JUNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de

resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.4, p.391-479, 2005.

ANDRADE, J. M. F. **A importância da usina de compostagem de São José do Rio Preto**. 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ponto-de-vista/47,a-importanciada-usina-de-compostagem-de-sao-jose-do-rio-preto>>. Acesso: 25 fev. 2015.

ANÁLISE das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Jaboatão dos Guararapes: Universidade Federal de Pernambuco, 2014. 184 p.

BALLESTERO, S. D.; SILVA, F. C. da; FORTES NETO, P.; FORTES, N. L. P. **Avaliação do composto de lixo urbano para uso agrícola**: índice de produção de CO₂ e maturidade. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2000. 27p. Série Documento – Embrapa, 1.

BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 2005. 190 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública)–Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2005.

BARREIRA, L. P.; PHILIPPI JUNIOR, A.; RODRIGUES, M. S. Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. **Engenharia Sanitária Ambiental**, São Paulo, v. 11, n. 4, p. 385-393, out./dez. 2006.

BERTON, R. S.; VALADARES, J. M. A. S. Potencial agrícola do composto de lixo urbano no Estado de São Paulo. **Agrônomo**, Campinas, v. 43, p. 87-93, 1991.

BRASIL. Instrução Normativa SDA Nº 27, de 05 de junho de 2006. **Dispõe sobre a importação ou comercialização, para produção, de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 de junho de 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília, DF, 2007a. 141 p.

BRASIL. Instrução Normativa SDA Nº 28, de 27 de julho de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organo-Minerais e corretivos, disponíveis na Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 jul. 2007b. Seção 1, página 11.

BRASIL. Instrução Normativa SDA Nº 25, de 23 de julho de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 de julho de 2009. Seção 1, p. 20.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 de agosto de 2010a. p. 2.

BRASIL. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos**. Brasília, DF: MMA, 2010b. 69 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do estado de São Paulo**: comunicação estadual. São Paulo: CETESB, 2011. 192 p.

_____. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares**. São Paulo, 2004.

_____. _____. São Paulo, 2010.

_____. **Compostagem de resíduos**: licenciados-SP: relatório. Disponibilizado pela CETESB em 12 jul 2014.

- _____. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos 2013**: Secretaria do Estado do Meio Ambiente. São Paulo: CETESB, 2014. 118 p.
- CHITOLINA, J. C. ; SILVA, F. C. ; BARBIERI, V. Extração sequencial e especiação de metais pesados no decorrer do processo de compostagem de resíduos sólidos domiciliares. **Holos Environment** (Online), v. 12, p. 99-106, 2012.
- D´ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, et al. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: IPT; CEMPRE, 2000. 278 p. (Publicação IPT 2163).
- DEMAJOROVIC, J. Da política tradicional de tratamento de lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, SP, v. 35, n. 3, 1995. p. 88 – 93.
- DEUS, R. S. de; SANTOS, A.D. dos; SILVA, F.C. da Especificação de requisitos do sistema inteligente para diagnóstico, recomendações de uso e monitoramento de composto de lixo urbano em agricultura. In: ENVIRONMENTAL AND HEARTH WORLD CONGRESS, 2006, Santos-SP, Brazil. Anais... Santos, 2006. 8p. (CD-ROOM).
- FEHR, M. A successful pilot project of decentralized household waste management in Brazil. **The Environmentalist**, v. 26, p. 21-29, 2006.
- FORTES NETO, P.I.; SILVA, F. C. da ; FORTES, N.L.P. ; BALESTEIRO, S. D. Quantificação da liberação de C-CO2 e relação C/N durante a compostagem de lixo. **Holos Environment** (Online), v. 13, p. 9-23, 2013.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**: 2008. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2010. 219 p.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos**: Relatório de pesquisa. Brasília, 2012. 82 p.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Ceres, 1985. 492 p.
- MASSUKADO, L. M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. 182 p.
- NAKAJIMA, G. T. et al. Avaliação de unidades de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos do Estado de São Paulo. In: ENVIRONMENTAL AND HEALTH WORLD CONGRESS, 2006, Santos. **Proceedings...** Santos, 2006. 1 CD-ROM.
- NAKAJIMA, G.T.; SILVA, F.C. da; MIRANDA, J.I. Avaliação de processos de compostagem em URC'S paulistas pela análise multicritério. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND COMPUTER EDUCATION, 2007, Santos. **Proceedings...** [S.l.]: Council of Researches in Education and Sciences, 2007. p. 475-479.
- SÃO PAULO (Prefeitura). **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de São Paulo**. São Paulo: Secretaria Municipal de Serviços, 2012. 248 p.
- SÃO PAULO (Estado). Lei 12.300, de 16 de março de 2006. **Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes**. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/files/2012/09/2006_Lei_12300.pdf>. Acesso: 15 jul. 2014.
- SANTOS, A.D. dos; NAKAJIMA, G.T.; DEUS, R.S. da; SILVA, F.C.da; RODRIGUES, L.H.A. Sistemas de informação aplicados e gestão de resíduo sólido urbano. In: SILVA, F. C. et al. **Gestão pública de resíduo sólido urbano**: compostagem e interface agro-floresta. Botucatu: FEPAF, 2009. p.167-202.

- 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, SP: Embrapa Informática Agropecuária, 2002b. (Circular Técnica 3).
- SILVA, F. C. da; CHITOLINA, J. C.; BALLESTERO, S. D.; VOIGTEL, S. D. S.; MELO, J. R. B. Processos de produção de composto de lixo e a sua qualidade como fertilizante orgânico. **Holos Environment**, v.5, n.2, p.121-136, 2004.
- SILVA, F. C. da; SILVA, C. A.; BERGAMASCO, A. F.; RAMALHO, A. L. Disponibilidade de micronutrientes em cinco solos em função do tempo de incubação de um composto de lixo urbano enriquecido: estudo em vasos. **Revista STAB: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, v. 21, p. 12-15, 2002c.
- SILVA, F. C. da; CHITOLINA, J.C.; NAKAJIMA, G.T. Especificação de metais pesados em solo tratado com composto de lixo urbano. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND COMPUTER EDUCATION – ICECE, 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo, Brazil, 2007b. 8p. (CD-ROOM).
- SILVA, F. C. da; NAKAJIMA, G. T.; MENDES FILHO, A.J.; GUEDES, R.E. . Avaliação de Unidades de Reciclagem e Compostagem de resíduos sólidos urbanos do Estado de São Paulo. In: ENVIRONMENTAL AND HEARTH WORLD CONGRESS, 2006, Santos/ SP, Brazil. **Anais...** Santos, SP – Brazil, 2006b. 8p. (CD-ROM).
- SILVA, F.C. da; CHITOLINA, J.C.; BARIONI, L.G.; CASTRO, A. Evaluation of bioavailability of heavy metals in urban waste in solid for extractors in Brazil. In: ORBIT CONFERENCE, 7. 2010, Herakilion, Grete. **Proceedings...** Herakilion, Grete, 2010a. p.1247-1255.
- SILVA, F.C. da; BERTON, R.S.; CHITOLINA, J.C.; BALLESTERO, S.D.; BARIONI, L.G. Establishment of recommendations and parameters for use of urban waste compost in agriculture in the state of Sao Paulo – Brazil. In: ORBIT CONFERENCE, 7. 2010, Herakilion, Grete. **Proceedings...** Herakilion, Grete, 2010b. p.1246.
- SILVA, F. C. da; SANTOS, A.D. dos; BERTON, R.S. **Avaliação operacional de processos e socioambiental de unidades de reciclagem e compostagem de resíduo sólido domiciliar no Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2017. 58 p. (Série Documento).
- SILVA, F.C. da (Organizador). **Manual de análises químicas em solos plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2009. 624p.
- SILVA, F.C. da; PIRES, A. M.M.; RODRIGUES, M.S.; BARREIRA, L.P. **Gestão pública de resíduo sólido urbano: compostagem e interface agro-florestal**. Botucatu: FEPAF, 2009. 204p.
- SILVA, F. C. da; COSTA, F. O. da; ZUTIN, R.; RODRIGUES, L. H.; BERTON, R. S.; SILVA, A. E. A. **Sistema especialista para aplicação do composto de lixo urbano na agricultura**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002a. 40p. (Documento, 22).
- SILVA, F. C. da; CHITOLINA, J.C. ; BARBIERI, V. . Especificação de metais traço em solo tratado com composto de lixo urbano. **HOLOS Environment** (Online), v. 13, p. 1, 2013.
- VASCONCELOS, Y. “O melhor do lixo” - Software e nova metodologia de análise indicam a qualidade do composto orgânico usado como adubo. **Pesquisa Fapesp**, n. 91, p. 75-81, set. 2003.