**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP – FEA – IEE - IF**

CRISTIANE LIMA CORTEZ

**ESTUDO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA
RESULTANTE DA PODA DE ÁRVORES URBANAS PARA A
GERAÇÃO DE ENERGIA: ESTUDO DE CASO: AES ELETROPAULO**

**SÃO PAULO
2011**

CRISTIANE LIMA CORTEZ

**ESTUDO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA RESULTANTE DA
PODA DE ÁRVORES PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA: ESTUDO DE CASO: AES
ELETROPAULO**

**Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Energia da Universidade de
São Paulo (Escola Politécnica / Faculdade
de Economia e Administração / Instituto de
Eletrotécnica e Energia / Instituto de Física)
para obtenção do título de Doutor em
Ciências**

**Orientador: Prof.^a Dr^a Suani Teixeira
Coelho**

**SÃO PAULO
2011**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Cortez, Cristiane Lima

Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para a geração de energia: estudo de caso: AES Eletropaulo./ Cristiane Lima Cortez; orientadora Suani Teixeira Coelho. – São Paulo, 2011.

246 f. : il.; 30cm.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo.

1. Energia em biomassa 2. Resíduos sólidos 3. Energia elétrica . I. Título.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP – FEA – IEE - IF

CRISTIANE LIMA CORTEZ

"Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para a geração de energia - estudo de caso: AES Eletropaulo"

Tese aprovada pela Comissão Julgadora:

Profª Drª Suani Teixeira Coelho – PPGE/USP
Orientadora e Presidente da Comissão Julgadora

Prof. Dr. Emilio Lebre La Rovere - UFRJ

Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira - UNIFEI

Prof. Dr. Arnaldo Cesar da Silva Walter - UNICAMP

Profª Drª Patricia Helena Lara dos Santos Matai – PPGE/USP

DEDICATÓRIA

A Deus que me concedeu a vida,
e em particular, me concedeu a graça de ter a minha mãe,
que além do seu amor e exemplo de vida, nos tempos
finas da tese cuidou de tudo por mim, principalmente da
vida da minha vida: meu filho Felipe!

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha mãe pela eterna e amorosa ajuda e ao meu filho por compreender os incontáveis momentos que não pudemos conviver.

À Profª Suani por ter me recebido no Cenbio, onde pude fazer parte da equipe do Projeto de P&D com a AES Eletropaulo, assim me motivando para a elaboração desta tese de doutorado, e ainda ter o privilégio de tê-la como minha orientadora.

À Sílvia Velásquez que acreditou no meu potencial e sempre depositou confiança no meu trabalho.

À equipe do Cenbio que trabalhou comigo neste projeto, Renata Grisoli e Fabio Gavioli, por tudo que pudemos aprender juntos e os bons tempos compartilhados durante o desenvolvimento do projeto.

Ao pessoal da área de meio ambiente da AES Eletropaulo, especialmente Silma Carmelo, Luciana Escames e Ricardo Ribeiro pela colaboração e parceria.

A todos do Cenbio, principalmente Vanessa Pecora, Patricia Guardabassi e Fernando Saker pela colaboração na impressão dos volumes entregues para a avaliação da banca.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação do IEE.

RESUMO

CORTEZ, C. L. **Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para a geração de energia. Estudo de caso: AES Eletropaulo.** 2011. 246p. Tese (Doutorado em Energia) - Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

No Brasil e em muitos países, principalmente países em desenvolvimento, os resíduos de poda urbana são na sua grande maioria depositados em aterros ou lixões contribuindo para a produção de metano, esgotamento das áreas dos aterros, contaminação do solo e dos lençóis freáticos. Assim, considerando o crescente problema ambiental e a busca pelo desenvolvimento sustentável, a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos, recentemente regulamentada, proíbe, a partir de 2014, dispor em aterro sanitário qualquer tipo de resíduo que seja passível de reutilização ou reciclagem. Há premente necessidade do estudo e quantificação do potencial de utilização dos resíduos de poda urbana, quer pela reutilização, reciclagem pela compostagem ou aproveitamento energético. A utilização dos resíduos de poda urbana como fonte de energia, desde que viável econômica e tecnicamente, apresenta aspectos benéficos ao país: aumenta a segurança do sistema elétrico com a geração descentralizada a custos competitivos, reduz a importação de combustíveis fósseis, capta recursos internacionais decorrentes da possível venda de Certificados de Emissão de Carbono para os países do Anexo 1 (caso seja considerado do tipo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, conforme prevê o Protocolo de Quioto) e pode até colaborar para reduzir o desmatamento de florestas nativas para fins energéticos. Esta tese utiliza como subsídios os resultados obtidos no projeto de Pesquisa & Desenvolvimento Aneel “Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo”; financiado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e desenvolvido pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (Cenbio) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo (USP) em parceria com a AES Eletropaulo. Assim, este trabalho analisa a atual situação de destinação dos resíduos de poda urbana e apresenta várias formas de aproveitamento como a reintegração destes resíduos aos respectivos ciclos biogeoquímicos (pela obtenção de composto orgânico por processo de compostagem), sua reutilização (artesanato ou obras de arte, bancos de jardins, etc.) ou seu aproveitamento energético, quer como lenha, carvão vegetal, briquete, ou *in natura* como combustível de usina termoeletrica. Sendo o objetivo central desta tese, estudar o potencial de utilização dos resíduos de poda urbana para a geração de energia elétrica, são analisados técnica, econômica e ambientalmente duas tecnologias: ciclo a vapor e digestão anaeróbia. Desta forma, a geração de energia elétrica proveniente da usina termoeletrica (ou melhor, uma pequena central termoeletrica) se mostrou mais viável economicamente do que a gerada na planta de digestão anaeróbia dos resíduos de poda urbana. Assim, espera-se que os resultados desta tese contribuam para que o poder público possa selecionar a tecnologia mais adequada para tratar os resíduos de poda urbana sob sua responsabilidade, além de adotar medidas de incentivos para esta prática.

Palavras-chave: Energia em biomassa. Resíduos sólidos. Energia elétrica.

ABSTRACT

CORTEZ, C. L. Study of the potential use of resulting biomass from urban tree pruning for power generation. Case Study: AES Eletropaulo. 2011. 246p. Doctorate Thesis. Graduate Program on Energy, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011

In Brazil and in many countries, mainly in the development ones, the residues from urban pruning are, in its majority, deposited in landfills or dumps, contributing for methane production, exhaustion of the landfills areas, contamination of soil and of groundwaters. Therefore, considering the aggravating and increasing environmental problem and the search for sustainable development and the compliance with the new National Policy for Solid Residues, recently regulated, and which forbids, from 2014 on, to dispose in landfill any kind of residue that is suitable for reuse or recycling, there is an urgent need for study and quantification of the utilization potential of the urban pruning residues, whether by means of reutilization, recycling by means of composting or energy use. The use of urban pruning residues as energy source, as long as it presents itself as economically and technically viable, presents very beneficial aspects to the country: it increases the electric system security with the decentralized generation at competitive costs, reduces the importation of fossil fuels, attracts international resources due to the possible sale of Carbon Emission Certificates to the Annex 1 countries (in case it is considered as a Clean Development Mechanism, as established by the Kyoto Protocol) and it can even contribute to reduce the deforestation of native forests for energy finalities. This thesis uses, as subsidies, the results obtained in the “Study of the Potential Use of Biomass from Trees Pruning and Removal on AES Eletropaulo's Concession Area” Aneel Research & Development project; financed by the Brazilian Electricity Regulatory Agency (ANEEL) and developed by the Brazilian Reference Center on Biomass (Cenbio) of the Institute of Electrotechnics and Energy (IEE) of the University of São Paulo (USP) in partnership with AES Eletropaulo. This way, this essay analyzes the current situation of urban pruning residues destination and presents several ways of utilization such as the reintegration of such residues to the respective biogeochemical cycles (by the obtainment of organic compound by means of composting process), their reuse (handicraft or works of art, park benches, etc.) or its energy utilization, whether as firewood, charcoal, briquette or *in natura* as fuel for thermoelectric plants. Since the main objective of this thesis is to study the utilization potential for the urban pruning residues for electric power generation, two technologies are technically, economically and environmentally analyzed: steam cycle and anaerobic digestion. This way, the electric power generation proceeding from the thermoelectric plant (or rather, a small thermoelectric central) showed itself as more economically viable than the one generated at the anaerobic digestion plant of the urban pruning residues. Therefore, it is expected that the results from this thesis can contribute for the public power to be able to choose the most adequate technology in order to treat the urban pruning residues under its responsibility, besides adopting measurements for incentives for this practice.

Keywords: Biomass to energy. Solid residues. Electric energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição espacial do Diagnóstico de Resíduos Sólidos de 2008	42
Figura 2 - Comparação esquemática dos métodos de compostagem	58
Figura 3 - Central de Tratamento de Resíduos em estudo pela SSE e EMAE.....	78
Figura 4 - Diagrama Esquemático do Processo Dranco	89
Figura 5 - Esquema da Tecnologia Kompogas.....	91
Figura 6 - Classificação de resíduos de poda urbana.....	95
Figura 7 - Localização da RMSP no Estado de São Paulo.....	97
Figura 8 - Unidades da AES Eletropaulo	98
Figura 9 - Área destinada para a usina de compostagem de resíduos de poda (P&D).....	105
Figura 10 - Pátio de compostagem concretado.....	106
Figura 11 - Túnel de vento para sustentação das leiras	106
Figura 12 - Leiras montadas com os aditivos. (a) lodo ativado, (b) esterco equino e (c) uréia comercial.	107
Figura 13 - Trituração de resíduos de poda	110
Figura 14 - Fase I: leiras montadas com estruturas de sustentação	110
Figura 15 - Fase II: leiras com túneis de vento	111
Figura 16 - Primeiro revolvimento (04/07/07)	112
Figura 17 - Leira de compostagem Fase I (14/11/2007)	113
Figura 18 - Fase II com túneis de vento - umedecimento	114
Figura 19 - Peneiramento do composto	115
Figura 20 - Composto orgânico e fração grossa produzidos no pátio de compostagem do P&D	115
Figura 21 - Ciclo Rankine da central termoelétrica proposta.....	155

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição da quantidade dos resíduos de poda por região (em %)	43
Gráfico 2 - Formas de destinação dos resíduos de poda urbana no Brasil (em %)	44
Gráfico 3 - Evolução do uso da lenha por setor entre 1975 e 2009.....	63
Gráfico 4 - Consumo de lenha no Brasil em 2009 por setor	63
Gráfico 5 - Consumo de lenha no Brasil em 2009 por tipo de indústria	64
Gráfico 6 - Consumo de carvão vegetal no Brasil em 2009 por setor.....	65
Gráfico 7 - Consumo de carvão vegetal no Brasil em 2009 por tipo de indústria.....	66
Gráfico 8 - Evolução da produção de carvão vegetal total e por tipo de matéria-prima: madeira nativa e provenientes de florestas plantadas.....	67
Gráfico 9 - Distribuição da geração de energia elétrica no Brasil (%) por tipo de empreendimento	73
Gráfico 10 - Tratamento dos RSU na Europa em 2008.....	75
Gráfico 11 - Destinação final dos resíduos de poda provenientes da área de concessão da AES Eletropaulo	102
Gráfico 12 - Variação da Temperatura ao longo do processo de compostagem: (a) Fase I (b) Fase II.	117
Gráfico 13 - Variação do pH ao longo do processo de compostagem (a) Fase I (b) Fase II..	118
Gráfico 14 - Variação da relação C/N ao longo do processo de compostagem. (a) Fase I (b) Fase II	118
Gráfico 15 - Variação da Umidade Total ao longo do processo de compostagem: (a) Fase I (b) Fase II	119
Gráfico 16 - Proporção entre custos iniciais e custos operacionais.....	130
Gráfico 17 - Comparação de custos para produção do composto final	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade e destinação de resíduos de poda urbana do levantamento realizado para este estudo.....	40
Tabela 2 - Quantidade e destinação de resíduos de poda urbana provenientes de pesquisa na literatura.....	41
Tabela 3 - Quantidade de resíduos de poda urbana (toneladas/ano) por estado nos anos de 2007 e 2008	43
Tabela 4 - Poder calorífico superior de vários combustíveis	62
Tabela 5 - Características do mercado de produtos densificados: Brasil e América do Norte.....	69
Tabela 6 - Distribuição das usinas de recuperação de energia em vários países da Europa em 2006	74
Tabela 7 - Dados básicos da UTTR.....	78
Tabela 8 - Evolução das características das plantas de digestão anaeróbia da Europa	87
Tabela 9 - Unidades Dranco no mundo	88
Tabela 10 - Dados de uma planta de digestão anaeróbia com capacidade anual de 10.000 toneladas	92
Tabela 11 - Estimativa da quantidade de resíduos de poda urbana gerados na área de concessão da AES Eletropaulo	100
Tabela 12 - Resultados das análises de poder calorífico	103
Tabela 13 - Resultados das análises físico-químicas.....	104
Tabela 14 - Características dos resíduos de poda e dos aditivos utilizados na usina piloto de compostagem.....	108
Tabela 15- Rendimento da produção de composto orgânico	116
Tabela 16 - Resultados dos micronutrientes.....	120
Tabela 17 - Resultados dos macronutrientes	120
Tabela 18 - Características dos condicionadores de solo produzidas na usina experimental de compostagem do P&D.....	121
Tabela 19 - Concentração máxima de substâncias inorgânicas permitida no lodo de esgoto ou produto derivado.....	124
Tabela 20 - Concentração máxima de patógenos permitida no lodo de esgoto ou produto derivado	124
Tabela 21 - Preços de mercado de condicionadores de solo	125
Tabela 22 - Valoração média dos compostos orgânicos por tipo.....	126
Tabela 23 - Formulações e preços dos fertilizantes minerais mais comercializados	127
Tabela 24 - Custo estimado de utilização de condicionador de solo para disponibilizar ao solo o mesmo conteúdo de NPK que 1 t dos fertilizantes minerais 4-14-8, 10-10-10 e 4-20-20. .	128
Tabela 25 - Valor de produção do composto por tratamento (R\$ / t).....	131
Tabela 26 - Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão de derivados da madeira	148
Tabela 27 - Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão de derivados da madeira	149
Tabela 28 - Limites de emissão para poluentes a serem monitorados continuamente.....	150
Tabela 29 - Limites de emissão para CO a serem monitorados continuamente.....	150
Tabela 30 - Limites de emissão para substâncias inorgânicas específicas, valores médios obtidos durante o período de amostragem mínimo de 30 minutos e máximo de 8 horas	151
Tabela 31 - Limites de emissão para dioxinas e furanos, valores médios obtidos durante o período de amostragem mínimo de 30 minutos e máximo de 8 horas	151
Tabela 32 - Limites de emissão e emissões usuais na Alemanha.....	152
Tabela 33 - Cenários propostos para a análise econômica	154

Tabela 34 - Parâmetros operacionais do ciclo a vapor do cenário 1	156
Tabela 35 - Parâmetros operacionais do ciclo a vapor dos cenários 2 e 3	157
Tabela 36 - Resultados do estudo termodinâmico do ciclo a vapor para os três cenários propostos.....	158
Tabela 37 - Investimentos nas centrais termoelétricas para os três cenários propostos	159
Tabela 38 - Análise econômica da central termoelétrica.....	160
Tabela 39 - Resultados do estudo técnico das plantas de digestão anaeróbia para os três cenários propostos	162
Tabela 40 - Investimentos nas plantas de digestão anaeróbia para os três cenários propostos	163
Tabela 41 - Análise econômica das plantas de digestão anaeróbia para os três cenários propostos.....	164
Tabela 42 - Resultados do estudo técnico das usinas de compostagem para os três cenários propostos.....	165
Tabela 43 - Investimentos nas usinas de compostagem dos três cenários propostos	165
Tabela 44 - Análise econômica da usina de compostagem (fluxo de caixa de 10 anos).....	166
Tabela 45 - Análise econômica da usina de compostagem (fluxo de caixa de 20 anos).....	167

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Alguns estados brasileiros que possuem Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos	33
Quadro 2 - Vantagens e desvantagens dos métodos de compostagem com revolvimento manual	53
Quadro 3 - Comparativo entre os de sistemas de compostagem	57
Quadro 4 - Destinação dos resíduos de poda urbana na área de concessão da AES Eletropaulo	101
Quadro 5 - Informações necessárias no rótulo das embalagens de condicionadores de solo.	123
Quadro 6 - Panorama da disposição de RSU nas principais regiões metropolitanas do estado de São Paulo.	139
Quadro 7 - Principais doenças transmitidas por vetores presentes em lixões	142

ABREVIATURAS E SIGLAS

ANER	Agência Nacional de Energias Renováveis
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APE	Autoprodução de Energia
ARSESP	Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo
BIGGT	<i>Biomass Integrated Gasifier Gas Turbine</i> (biomassa em ciclos combinados com gaseificadores e turbinas a gás)
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BPF	Baixo ponto de fusão
CEAGESP	Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CGR	Centro de Gerenciamento de Resíduos
CIPNRS	Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
COFINS	Contribuição Para o Financiamento da Seguridade Social
COMCAP	Companhia Melhoramentos da Capital
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CSLL	Contribuição social sobre lucro líquido
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EOL	Central Geradora Eolielétrica
EPIs	Equipamentos de Proteção Individuais
ERT	Enxofre reduzido total
ESALQ	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
ETE	Estação de tratamento de efluentes
FRBL	Fundo para a Reconstituição de Bens Lesados
GEE	Gás de efeito estufa
GEES	Gases de efeito estufa
GLP	Gás liquefeito de petróleo
IGCC	<i>Integrated Gasifier Systems Combined Cycle</i> (ciclo combinado de gaseificação integrado)
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
LO	Licença de operação
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i> ou Pannel de Fibras de Média Densidade
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MP	Material particulado
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PAC 2	Segunda edição do Programa de Aceleração do Crescimento
PAMPA	Programa de Aproveitamento de Madeira de Podas de Árvores
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PCI	Poder calorífico inferior
PD	Payback descontado
PERS	Política Estadual de Resíduos Sólidos
PGRS	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PIE	Produção Independente de Energia
PIS	Programa de Integração Social PIS
PME	Programa de Madeira Energética
PME	Programa de Madeira Energética
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PoAs	Programas de Atividades
POMs	Pequenos Objetos de Madeira
PPPs	Parcerias público-privadas
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PRONAR	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
PS	Payback simples
REG	Registro
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RMSP	Região metropolitana de São Paulo
RSD	Resíduos sólidos domiciliares
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SINIR	Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SINMETRO	Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SMA	Secretaria do Meio Ambiente

SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SOL	Central Geradora Solar Fotovoltaica
SSE	Secretaria de Saneamento e Energia
SUASA	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
TCO	Custo Total de Titularidade
Tep	Tonelada equivalente de petróleo
TIR	Taxa interna de retorno
TMB	Tratamento mecânico biológico
TUSD	Tarifas de uso do sistema de distribuição
TUST	Tarifas de uso do sistema de transmissão
UGRHI7	Unidade de Recursos Hídricos da Baixada Santista
UHE	Usina Hidrelétrica de Energia
URE	Usinas de recuperação de energia
UTE	Usina Termoelétrica
UTES	Usinas Termoelétricas
UTN	Usina Termonuclear
UTTR	Usina de Tratamento Térmico de Resíduos
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	24
2.1 Definições	24
2.2 Legislação	27
2.2.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos	27
2.2.2 Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos	33
2.2.3 Legislação específica para resíduos de poda urbana	35
2.3 Resíduos de Poda Urbana: Panorama Brasileiro	38
3. UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE PODA URBANA	46
3.1 Aproveitamento Não Energético	47
3.1.1 Confecção de Pequenos Objetos de Madeira	47
3.1.2 Compostagem	48
3.2 Aproveitamento Energético dos Resíduos de Poda Urbana	60
3.2.1 Processos Físicos	68
3.2.2 Processos Termoquímicos	70
3.3 Panorama de Utilização dos Resíduos de Poda Urbana	93
4 ESTUDO DE CASO: ÁREA DE CONCESSÃO DA AES ELETROPAULO	96
4.1 A AES Eletropaulo e a Área de Concessão	97
4.2 Descrição dos Serviços de Poda Urbana de Árvores	98
4.3 Estimativa da Quantidade Anual de Resíduos Vegetais Provenientes da Poda de Árvores	100
4.4 Disposição dos Resíduos de Poda Urbana	101
4.5 Caracterização dos Resíduos de Poda de Árvores	103
4.6 Desenvolvimento do Projeto Piloto de Compostagem com os Resíduos de Poda Urbana	105
4.6.1 Montagem das Leiras	109
4.6.2 Operação da Usina de Compostagem	111
4.6.3 Peneiramento do Composto	114
4.6.4 Monitoramento da Leiras	116
4.7 Qualidade do Produto Obtido na Usina Piloto de Compostagem	120
4.8 Análise Econômica da Obtenção de Condicionador de Solo na Usina Piloto de Compostagem	125
4.8.1 Valoração do Composto Orgânico	126
4.8.2 Comparação entre Condicionador de Solo e Fertilizante Mineral	126
4.8.3 Análise Econômica da Implantação da Usina de Compostagem	129
4.9. Considerações finais do estudo de caso	133
5 ASPECTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DE PODA URBANA	136
5.1 Aspectos Ambientais da dos Resíduos de Poda Urbana na Área de Estudo	137
5.1.1 Disposição Direta no Solo, Queima a Céu Aberto, Reutilização	137
5.1.2 Disposição em Aterros Sanitários	138
5.1.3 Disposição em Lixões	141
5.1.4 Compostagem	143
5.1.5 Utilização como Matéria-Prima para Combustível (biomassa) de Caldeira	144
5.2 Aspectos Ambientais das Tecnologias Seleccionadas de Aproveitamento Energético dos Resíduos de Poda Urbana	145
5.2.1 Limites de Emissão de Poluentes Atmosféricos Relacionados à Combustão de Biomassa de Madeira	145

6 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DAS TECNOLOGIAS SELECIONADAS	153
6.1 Proposta de Cenários	154
6.2 Aproveitamento dos Resíduos de Poda Urbana para Geração de Energia Elétrica.....	155
6.2.1 Análise Técnica	155
6.2.2 Análise Econômica	158
6.3 Aproveitamento dos Resíduos de Poda Urbana por Meio de Digestão Anaeróbia para Obtenção de Composto Orgânico e Energia Elétrica	161
6.3.1 Análise Técnica	161
6.3.2 Análise Econômica	162
6.4 Utilização dos Resíduos de Poda como Composto Orgânico	164
6.4.1 Análise Técnica	164
6.4.2 Análise Econômica	165
6.5 Análise dos Resultados	167
7 BARREIRAS E PROPOSTAS DE POLÍTICAS.....	170
8 CONCLUSÕES	175
REFERÊNCIAS	181
APÊNDICE A - Quantidade e Destinação de Resíduos de Poda Urbana Declarados no Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – Ano de Referência 2008.....	195
APÊNDICE B - Quantidade e Destinação de Resíduos de Poda Urbana declarados no Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - Ano de Referência 2007	198
APÊNDICE C - Usinas Termoeletricas a Biomassa em Operação no Brasil	200
APÊNDICE D - Exemplos Internacionais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos na Alemanha, Portugal e Itália	203
APÊNDICE E - Roteiro para o Dimensionamento da Área de um Pátio de Compostagem..	210
APÊNDICE F - Cálculos Termodinâmicos da Central Termoeletrica.....	211
APÊNDICE G - Análise Econômica da Central Termoeletrica	218
APÊNDICE H - Análise Econômica dos Cenários da Planta de Digestão Anaeróbia.....	225
APÊNDICE I - Análise Econômica da Usina de Compostagem	231
ANEXO A – Plantas Kompogas	244

1 INTRODUÇÃO

As administrações municipais, responsáveis pela gestão e destinação final dos resíduos sólidos urbanos, têm enfrentado sérios problemas com o gerenciamento do enorme e variado volume de resíduos sólidos descartados, em função, nos últimos tempos, do aumento das quantidades geradas, devido ao avanço acelerado das concentrações populacionais nos centros urbanos, do grande desenvolvimento tecnológico, da diversificação na oferta de produtos de consumo e das facilidades proporcionadas ao acesso a estes bens.

A crescente preocupação com o meio ambiente, verificada ao longo dos últimos anos, tem servido como base para que sociedades e organizações questionem os modelos vigentes de exploração dos recursos naturais, abordando não somente a intensidade com que são explorados, como também as consequências ambientais decorrentes de sua utilização.

De acordo com o levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2000 (IBGE, 2002), a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil é de 157 mil t/dia, sendo coletados 126 mil t/dia, com a seguinte destinação final: 47,1% em aterros sanitários, 22,3% em aterros controlados e 30,5% em lixões. Todavia, em número de municípios, 63,6% utilizam lixões e 32,2% aterros (13,8% aterros sanitários e 18,4% aterros controlados), sendo que 4,2% não informaram o destino de seus resíduos.

As cidades com mais de um milhão de habitantes produzem em média 1,5 kg/dia/habitante de lixo urbano, sendo que destes, 0,35 kg/dia são de lixo público (IBGE, 2002), do qual faz parte o “lixo verde”, proveniente de podas e cortes de árvores, limpeza de praças, bosques e da capinação de terrenos, constituído basicamente de galhos, troncos e folhas, isto é, material orgânico.

A destinação adequada destes resíduos de poda se faz necessária, haja vista que a sua grande maioria é depositada em aterros ou lixões. Assim, nos aterros, misturam-se com os outros resíduos sólidos ali depositados e contribuem para a produção do biogás, que se não for coletado, impacta o meio ambiente, uma vez que é constituído principalmente por metano, que é grande responsável pelo efeito estufa.

O biogás dos aterros sanitários pode ser utilizado para gerar energia elétrica ou térmica. Entretanto, este aproveitamento é limitado à parte do gás de aterro que é coletada. Em síntese, estes recursos energéticos preciosos não são bem aproveitados.

Portanto, é de vital importância a segregação dos resíduos recicláveis e dos resíduos com alta carga biológica, também chamados de resíduos úmidos, como restos de comida, resíduos de poda urbana, de feiras livres, supermercados e de madeira em geral, para que possam ter destino mais nobre, como por exemplo, a compostagem, mitigar a produção de gás metano e também diminuir os volumes depositados nos aterros.

Desta forma, considerando o crescente problema ambiental referente ao limite da capacidade dos aterros sanitários, a busca pelo desenvolvimento sustentável e o atendimento à nova Política Nacional de Resíduos Sólidos, recentemente regulamentada, e que proíbe, a partir de 2014, dispor em aterro sanitário qualquer tipo de resíduo que seja passível de reutilização ou reciclagem, há premente necessidade do estudo e quantificação do potencial de utilização dos resíduos de poda urbana quer pela reutilização, reciclagem pela compostagem ou aproveitamento energético.

A utilização do “lixo verde” como fonte de energia, desde que viável economicamente e tecnicamente apresenta, entre outros, dois aspectos econômicos muito benéficos ao país. Primeiramente, aumentaria a segurança do sistema elétrico com a geração descentralizada. Além disso, o combustível utilizado é cotado em moeda nacional e normalmente a custo negativo, permitindo uma reversão de parte do fluxo internacional de capitais, uma vez que podem substituir combustíveis fósseis importados para serem usados nas centrais termoelétricas, e da captação de recursos internacionais decorrentes da possível venda de Certificados de Emissão de Carbono para os países do Anexo 1, caso os projetos a serem implementados se adequem às metodologias de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, conforme prevê o Protocolo de Quioto.

Assim, esta tese tem por objetivo analisar a atual situação de destinação dos resíduos de poda urbana, considerando que esta deve levar em conta a reintegração aos respectivos ciclos biogeoquímicos (pela obtenção de composto orgânico por processo de compostagem), a reutilização (como artesanato, obras de arte ou bancos de jardins) ou seu aproveitamento energético, quer como lenha, carvão vegetal, briquete, ou *in natura* como combustível de usina termoelétrica. Os resíduos de poda urbana podem, inclusive, colaborar para reduzir o desmatamento de florestas nativas para fins energéticos, se forem usados para substituir lenha de desmatamento, por exemplo.

A presente tese analisa técnica, econômica e ambientalmente as possibilidades de aproveitamento de resíduos de poda urbana, a partir dos resultados de estudo de caso baseado no projeto de Pesquisa & Desenvolvimento Aneel “Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES

Eletropaulo”; financiado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e desenvolvido pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (Cenbio) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo (USP) em parceria com a AES Eletropaulo.

A literatura apresenta alguns trabalhos desenvolvidos em relação ao aproveitamento dos resíduos de poda das espécies da mata atlântica, caatinga e cerrado, mas não há trabalhos que tratem do aproveitamento (em particular, o energético) dos resíduos provenientes dos serviços de poda ou erradicação de arborizações urbanas, que são mescladas por diversas espécies como frutíferas, exóticas e nativas (FATIMA, 2003). Ainda sobre resíduos de poda urbana, há vários trabalhos na literatura sobre a utilização destes resíduos na obtenção de composto orgânico por meio da compostagem (ALVES, 2007; ANDRADE, 1994; ARRIGO et al., 2005; BARATTA JR; MAGALHÃES, 2010; BIDONE, 2001). De acordo com Maccarini (2007), há carência de pesquisa sobre formas adequadas para a destinação dos resíduos de poda urbana. Meira (2010) apresentou uma valiosa contribuição para o tema com trabalho sobre gerenciamento de resíduos de arborização urbana do município de Piracicaba.

Também, há trabalhos que apresentam tecnologias para aproveitamento energético de resíduos vegetais como: gaseificação de resíduos agrícolas (PATHAK et al. 2008.); geração de energia a partir de resíduos de madeiras (VARKULYA JR, 2004; VELÁZQUEZ et al., 2010; YANG; JENKINS, 2008); geração de energia a partir de resíduos florestais (MIKSYS et al., 2005; MIZARAITE; MIZARAS; SADAUSKIENE, 2007), mas nenhum explora o aproveitamento energético de resíduos de poda urbana, em grandes centros urbanos.

O objetivo central desta tese de doutorado é avaliar o potencial de utilização dos resíduos de poda urbana para a geração de energia elétrica. Para que seja alcançado, esta tese tem como objetivos secundários: estudar o aproveitamento não energético dos resíduos de poda urbana, realizar estudo de viabilidade técnica e econômica de aproveitamento energético destes resíduos por uso direto da biomassa ou por métodos de digestão anaeróbia (ou biometanização) e avaliar os impactos ambientais em todas as etapas envolvidas (disposição dos resíduos de poda urbana e utilização por meio de compostagem e geração de energia).

Espera-se que este trabalho contribua para que os resíduos de poda tenham destinação mais adequada e que o Poder Público adote medidas de incentivos para esta prática.

Para atingir os objetivos a que se propõe, esta tese está estruturada da seguinte forma. O capítulo 2 aborda as definições e os critérios vigentes de classificação dos resíduos sólidos no Brasil, consequência da instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos e de sua regulamentação. É analisada a citada política, confrontando os pontos comuns com o Plano Nacional de Saneamento Básico, bem como as principais políticas estaduais de resíduos

sólidos existentes, com destaque para a do estado de São Paulo. Também, é apresentada uma revisão comentada sobre a legislação que dispõe sobre destinação de resíduos de poda urbana nos municípios do estado de São Paulo, e em particular na área de concessão da AES Eletropaulo. Ainda apresenta dados sobre a quantidade de resíduos de poda urbana gerada no Brasil e como é feita a destinação final deste tipo de resíduo. Incluindo aqui, as dificuldades de obtenção destas informações junto aos órgãos oficiais do governo e também na literatura.

O capítulo 3 apresenta formas possíveis de utilização de resíduos de poda urbana que visam ou não seu aproveitamento energético como reutilização por meio da confecção de pequenos objetos de madeira, compostagem, também conhecida como reciclagem orgânica, briquetagem, peletização, combustão, pirólise, gaseificação e digestão anaeróbia.

No capítulo 4, são apresentados os principais resultados do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) Aneel “Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo”, desenvolvido pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo (USP) no período de 2006 a 2008, que forneceu subsídios técnicos para esta tese. Tais resultados incluem panorama da quantidade e destinação final dos resíduos de poda urbana gerada na área de concessão da AES Eletropaulo, as características físico-químicas destes resíduos, bem como a implantação, o desenvolvimento e a qualidade do composto orgânico obtido na usina experimental de compostagem implantada em área do Projeto Pomar da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo¹.

O capítulo 5 apresenta uma análise qualitativa dos aspectos ambientais dos resíduos de poda urbana na várias situações de disposição e destinação encontradas na área do estudo de caso, bem como os impactos ambientais provenientes das tecnologias de aproveitamento energético dos resíduos de poda urbana selecionadas para a avaliação econômica do capítulo 6. Também contém uma revisão comentada da legislação em vigor para os limites máximos de emissão de poluentes provenientes de processos que envolvem a produção de energia a partir de biomassa constituída de madeira.

Com os cenários traçados a partir dos resultados do estudo de caso apresentado no capítulo 4, é elaborada, no capítulo 6, a avaliação econômica de três alternativas de aproveitamento de resíduos de poda urbana na região metropolitana de São Paulo: produção de composto orgânico por meio de compostagem, geração de energia elétrica por meio de

¹ O projeto Pomar é um projeto de revegetação das margens do Rio Pinheiros, cuja sede fica localizada na avenida Guido Caloi, 551, no município de São Paulo.

ciclo a vapor (pequena central termoelétrica) e geração de energia elétrica e composto orgânico por meio de um processo de digestão anaeróbica.

O capítulo 6 apresenta e discute barreiras existentes à geração de eletricidade a partir de resíduos de madeira, bem como a falta de legislação específica para o setor de madeira energética.

O capítulo 7 relata as conclusões obtidas com o trabalho e propõe políticas que incentivem o aproveitamento dos resíduos de poda urbana. Também, discute as limitações desta tese, ressaltando a possibilidade de estudos posteriores aprofundarem a análise aqui iniciada.

2 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Este capítulo apresenta definições e os critérios vigentes de classificação dos resíduos sólidos no Brasil, consequência da instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos e de sua regulamentação.

É analisada a citada política, confrontando os pontos comuns com a Política Nacional de Saneamento Básico, bem como as principais políticas estaduais de resíduos sólidos existentes, com destaque para a do estado de São Paulo. Também, é apresentada uma revisão comentada sobre a legislação que dispõe sobre destinação de resíduos de poda urbana nos municípios do estado de São Paulo, e em particular na área de concessão da AES Eletropaulo.

São apresentados dados sobre a quantidade de resíduos de poda urbana gerada no Brasil e como é feita a destinação final deste tipo de resíduo, além de tratar das dificuldades de obtenção destas informações junto aos órgãos oficiais do governo e também na literatura.

2.1 Definições

A Associação Brasileira de Normas Técnicas define resíduos sólidos como resíduos nos estados sólido e semi-sólido que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT NBR 10.004, p.1, ABNT, 2004).

Pelos riscos potenciais ao meio ambiente, esta mesma norma técnica classifica os resíduos sólidos em:

- Classe I: resíduos perigosos, quando apresentarem riscos à saúde pública e ao meio ambiente. As características que conferem periculosidade a um resíduo são: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade. São exemplos de resíduos perigosos alguns resíduos industriais e hospitalares.
- Classe II: resíduos não perigosos. Estes resíduos compreendem: resíduos de restaurante (restos de comida), sucatas de metais ferrosos, sucata de metais não

ferrosos (latão, etc.), resíduo de papel e papelão, resíduos de plásticos polimerizados, resíduos de borracha, resíduos de madeira, resíduos de materiais têxteis, resíduos de minerais não-metálicos, areia de fundição, bagaço de cana e outros resíduos não perigosos. Esta classe se subdivide em:

- Classe II A: resíduos não inertes. São aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I (perigosos) ou de classe II B (inertes). Os resíduos desta classe não podem apresentar propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Os resíduos domésticos são exemplos de resíduos não inertes.
- Classe II B: resíduos inertes. São os resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007:2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada e deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor. Rochas, entulhos, tijolos e vidros são exemplos de resíduos inertes Classe II B.

Esta classificação é ainda utilizada e acaba por designar também a classe ou o tipo de aterro que receberá o resíduo. Por exemplo, costuma-se dizer: aterro classe I (para os resíduos industriais, os perigosos) e aterro classe II para os resíduos domiciliares, ou resíduos industriais não perigosos que podem ser tratados como domésticos.

De acordo com Brasil (2010a), a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida em 2 de agosto de 2010, em seu Art. 13 classifica os resíduos sólidos quanto à origem e à periculosidade. Em relação à periculosidade, os resíduos sólidos são classificados em resíduos perigosos (aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica) e não perigosos.

Quanto à origem, os resíduos sólidos são divididos em onze tipos, a saber:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;

- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nos resíduos domiciliares e de limpeza urbana;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nas atividades do abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas²;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama) e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS);
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Se os resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços forem caracterizados como não perigosos, podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal.

Assim, de acordo com os critérios de riscos estabelecidos pela ABNT, os resíduos de poda de árvores, apesar do alto teor de lignina, são biodegradáveis e classificados como Classe II não inertes. Pela PNRS, os resíduos de poda urbana quanto à periculosidade são não perigosos e do tipo resíduo de limpeza urbana. Se agregados aos resíduos domiciliares passam a ser do tipo resíduos sólidos urbanos.

² De acordo com a Lei Federal nº 11.445, de 2007 (que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico) os resíduos provenientes dos serviços de limpeza urbana e os domiciliares também pertencem aos serviços públicos de saneamento básico, mas não são incluídos nesta classe por terem classificação própria (vide alíneas “a”, “b” e “c”).

A Constituição Federal Brasileira, Artigo 30, incisos I e V determina que os governos municipais têm a responsabilidade da gestão dos resíduos sólidos urbanos de origem nos domicílios domésticos, comerciais e industriais de pequeno porte, além dos resíduos coletados nos espaços públicos, o chamado lixo público. Assim, além de realizar os serviços de poda urbana, os municípios devem fazer a coleta e a destinação final dos resíduos gerados.

2.2 Legislação

2.2.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 (PNRS) mencionada anteriormente (item 2.1) dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos dos resíduos sólidos no Brasil, bem como sobre as diretrizes relativas à sua gestão integrada e ao seu gerenciamento, incluídos os resíduos perigosos, bem como às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010a). O primeiro projeto de lei para a criação da PNRS foi apresentado na Câmara dos Deputados em 1989, demorando mais de vinte anos para ser sancionado

Aplicam-se aos resíduos sólidos, além do disposto na PNRS:

- a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, definido como o conjunto de serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.
- a Lei nº 9.974, de 6 de junho de 2000 que altera a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins;
- a Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000 que dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional;

- as normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa) e do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro).

A PNRS foi regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, o qual também criou o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos (CIPNRS) e o Comitê Orientador para a implantação dos sistemas de logística reversa (BRASIL, 2010b). Ressalta-se que o papel do CIPNRS será de fundamental importância para o cumprimento das diretrizes da PNRS brasileira. (BRASIL 2010 b).

O CIPNRS será coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e composto por membros indicados pelos titulares do próprio MMA, Casa Civil da Presidência da República; Ministério das Cidades; Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome; Ministério da Saúde; Ministério de Minas e Energia (MME); Ministério da Fazenda; Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão; Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA); Ministério da Ciência e Tecnologia; e Secretaria de Relações Institucionais da Presidência da República. Também poderá convidar representantes de outros órgãos e entidades, públicas ou privadas, para participar de suas reuniões e criar grupos técnicos compostos por representantes dos órgãos que o compõe, de outros órgãos públicos, bem como de entidades públicas ou privadas.

Desta forma, espera-se que os integrantes do CIPNRS sejam de alta qualidade técnica e estejam dispostos a trabalhar com afinco em prol de colaborar para a gestão dos resíduos sólidos brasileiros. Dentre as competências do CINPRS, de importância para os assuntos tratados nesta tese destacam-se: instituir os procedimentos para elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, além de proceder a sua elaboração e avaliar a sua implementação; formular estratégia para a promoção e difusão de tecnologias limpas para a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos; incentivar a pesquisa e o desenvolvimento nas atividades de reciclagem, reaproveitamento e tratamento dos resíduos sólidos e contribuir, por meio de estudos específicos, com o estabelecimento de mecanismos de cobrança dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos pelos seus respectivos titulares.

De grande valor para o tema da tese, no tocante ao aproveitamento energético dos resíduos de poda urbana é que a PNRS e sua regulamentação autorizam a utilização de tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que com comprovada viabilidade técnica e ambiental, monitoramento de emissão de gases tóxicos de

acordo com as diretrizes do órgão ambiental competente. Tal modalidade de tratamento de resíduos sólidos será disciplinada, de forma específica, em ato conjunto do MMA, MME e Ministério das Cidades. Tais exigências excluem o aproveitamento energético dos gases gerados na biodigestão e na decomposição da matéria orgânica dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários.

Ainda de importância ímpar, é que no processo de aprovação do plano de gerenciamento de resíduos sólidos, continua assegurada a utilização dos subprodutos e resíduos de valor econômico não descartados, de origem animal ou vegetal, conforme a Lei nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991 e na Lei nº 9.972, de 25 de maio de 2000, como insumos de cadeias produtivas, bem como o aproveitamento de biomassa na produção de energia.

A PNRS estabelece claramente a distinção entre resíduo /rejeito e destinação final / disposição final. O resíduo, após a destinação final se torna o rejeito que deverá ter a disposição final em aterros. A destinação e a disposição devem obedecer às normas operacionais específicas de modo a minimizar os impactos ambientais adversos e a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança. A destinação final inclui tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, como a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes.

A União fica obrigada, pela PNRS, a elaborar plano nacional de resíduos sólidos até junho de 2011. Já os estados devem elaborar planos estaduais de resíduos sólidos ou optar por contemplar microrregiões, regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas e intermunicipais. Por sua vez, os municípios são obrigados a elaborar planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos, que de acordo com Guimarães (2010) podem estar inseridos nos planos de saneamento básico previstos no art. 19 da Lei Federal nº 11.445, de 2007. Todos os geradores de resíduos sólidos (dos diversos tipos citados no item 2.1) devem elaborar planos de gerenciamento de resíduos sólidos. O prazo é até agosto de 2012.

Esta lei amplia a visão do saneamento básico, quando inclui os serviços de manejo de resíduos sólidos urbanos e controle das inundações. Esta determinação contempla uma demanda antiga do meio técnico de saneamento, uma vez que a eficiência dos serviços de abastecimento de água e tratamento de esgoto é totalmente dependente da solução dos problemas de manejo dos RSU e do controle das inundações. Desta forma, fica criada a necessidade de ampla interação entre os municípios, ou as regiões metropolitanas e o governo do estado. Os serviços locais de limpeza urbana devem continuar sob responsabilidade dos

municípios, mas a gestão dos resíduos deve passar para a responsabilidade dos estados, pois ultrapassam a jurisdição de cada município.

Este arranjo também está em consonância com a PNRS, a qual prioriza o acesso aos recursos da União os estados que instituírem microrregiões para integrar a organização, o planejamento e a execução das ações a cargo de municípios limítrofes na gestão dos resíduos sólidos, bem como a participação voluntária dos municípios e a formação dos consórcios intermunicipais. “Se por um lado os municípios cedem parte de sua autonomia no que respeita os segmentos dos serviços que integram as funções públicas de interesse comum metropolitano, por outro ganham participação ativa no processo decisório regional” (SÃO PAULO, 2010a, p.54). É obrigatória a participação do Ministério das Cidades na avaliação da compatibilidade do referido Plano com o Plano Nacional de Saneamento Básico.

No âmbito dos RSU, entre os itens do conteúdo mínimo obrigatórios dos planos de resíduos sólidos estipulado pela PNRS, é de grande importância o diagnóstico da situação dos resíduos sólidos; fundamental para criação de políticas públicas, planejamento de orçamento, busca de fontes de financiamento, estabelecimento de consórcios intermunicipais e de parcerias público-privadas (PPPs). No item 2.3 fica evidenciada a carência de informações sobre a quantidade e destinação dos resíduos de poda de árvores, foco principal desta tese. Os estados, o Distrito Federal e os municípios deverão disponibilizar anualmente ao Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) as informações necessárias sobre os resíduos sólidos sob sua esfera de competência.

Neste ponto, é de vital importância a instituição do SINIR, sob a coordenação e articulação do MMA até dezembro de 2012, como estipulou o Decreto nº 7.404 de 23/12/2010. Destacam-se entre as finalidades do SINIR: coleta, sistematização, armazenamento, disseminação, disponibilização de estatísticas, indicadores e outras informações relevantes relativos à prestação dos serviços públicos e privados de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. Assim, o SINIR exercerá papel fundamental na caracterização da demanda e da oferta de serviços públicos de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos permitindo e facilitando o monitoramento, a fiscalização e a avaliação da eficiência destes serviços, bem como o acompanhamento das metas dos planos e das ações da gestão e gerenciamento de resíduos sólidos nos diversos níveis. Manterá a sociedade informada sobre as atividades realizadas na implementação da PNRS; ao disponibilizar periodicamente à sociedade o diagnóstico da situação dos resíduos sólidos no Brasil, por meio do Inventário Nacional de Resíduos Sólidos.

Igualmente importante é a obrigatoriedade da proposição de cenários, incluindo tendências internacionais e macroeconômicas e as metas de redução da quantidade de resíduos e rejeitos; bem como de eliminação e recuperação de lixões. Além de que, é prioritário que os programas, projetos e ações para o atendimento das metas previstas sejam planejados de forma consciente e de acordo com a realidade brasileira, a fim de que as metas possam ser atingidas.

É necessário que a União também fiscalize o cumprimento dos prazos de elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, com ampla participação da sociedade civil, para que esta realmente se sinta parte do problema e da solução e possa cooperar com todas as ações que se façam necessárias. Principalmente participar dos programas e ações municipais de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Outro ponto relevante é a União estabelecer de maneira clara as normas e condicionantes técnicas das ações e programas referentes aos resíduos sólidos que utilizará para avaliar os estados e os municípios para a obtenção de recursos sob sua responsabilidade. Ainda em relação à liberação dos recursos ou concessão de benefícios por incentivos ou financiamentos federais de crédito ou fomento a empreendimentos e serviços relacionados à gestão de resíduos sólidos (no caso dos estados) e particularmente relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos (no caso dos municípios e Distrito Federal), a União deve se manter firme na exigência do PERS e do PGRIS para os estados e municípios, respectivamente. Como exemplo, Agência (2010) informa que as unidades da federação que não cumprirem o prazo final de elaboração de seus planos de resíduos sólidos não poderão usar os R\$1,5 bilhão de recursos da segunda edição do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC 2) para o tratamento de resíduos sólidos.

Vale ressaltar que a União concederá prioridade aos estados que instituírem microrregiões e aos municípios que optarem por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos, incluída a elaboração e implementação de plano intermunicipal, ou que se inserirem de forma voluntária nos planos microrregionais de resíduos sólidos estaduais, e implantarem a coleta seletiva com a participação de cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda. Ainda há necessidade do estabelecimento em regulamento de normas complementares sobre o acesso aos recursos da União.

Assim, pode-se notar que a PNRS pretende transformar a gestão dos resíduos sólidos no Brasil, ampliando a reciclagem, eliminando os lixões e integrando os planos de resíduos

sólidos nas esferas nacional, estadual, regional e municipal. Quanto maior esta integração e interação, melhores serão os índices quantitativos e qualitativos de disposição e destinação dos resíduos sólidos e em consequência a qualidade de vida da população será majorada, colaborando para o saneamento básico e para a saúde e bem-estar das pessoas.

Esta análise da PNRS, não levou em conta dois de seus pontos considerados mais modernos e polêmicos:

- a) a responsabilidade pela coleta e destinação de resíduos sólidos (como agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, pilhas e baterias; pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista e produtos eletroeletrônicos e seus componentes) pela logística reversa, que compreende o conjunto de ações e procedimentos destinados a facilitar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos aos geradores (fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes), para que sejam tratados ou reaproveitados em seu próprio ciclo produtivo ou no ciclo produtivo de outros produtos.
- b) a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos).

A justificativa é que nenhum destes instrumentos se aplica aos resíduos de poda urbana, uma vez que não poderão ser encaminhados ao setor empresarial que os originou e também não há como diminuir os volumes gerados, pois se entende que a tendência é à medida que buscam ambientes mais sustentáveis, as cidades sejam mais arborizadas, e, portanto, a quantidade de resíduos de poda urbana aumente.

O que precisa ser feito, independentemente da regulamentação da PNRS, é submeter os resíduos de poda urbana a processos de destinação final eficazes para a minimização dos rejeitos enviados a aterros ou distintas destinações ainda piores (as quais serão mostradas adiante para alguns municípios brasileiros e particularmente da região metropolitana de São Paulo).

Ainda no tocante aos resíduos de poda urbana, podem-se destacar duas importantes contribuições advindas com a PNRS: (i) o dever dos serviços de limpeza urbana implantar sistemas de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articularem formas de utilização

do composto produzido junto aos agentes econômicos e sociais e (ii) incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético.

2.2.2 Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos

Na ausência de uma política nacional de resíduos sólidos, alguns estados brasileiros criaram suas políticas independentes. As respectivas leis e as datas da promulgação em ordem cronológica são apresentadas no Quadro 1.

Estado	Lei	Data
Pernambuco	Lei Estadual nº 12.008	01/06/2001
Rondônia	Lei Estadual nº 1.145.	12/12/2002
Santa Catarina	Lei Estadual nº 13.557 ^a	17/11/2005
São Paulo	Lei Estadual nº 12.300 ^b	16/03/2006
Minas Gerais	Lei Estadual nº 18.031	12/01/2009

^a Revogada e substituída pelo Capítulo I (artigos 256 a 273) do Código Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina instituído pela Lei nº 14.675, de 13/04/2009.

^b Regulamentada pelo Decreto nº 54.645/09, de 06/08/2009.

Quadro 1 - Alguns estados brasileiros que possuem Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos

Todos estes estados instituíram em suas Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos a exigência para os municípios apresentarem plano de gerenciamento de resíduos urbanos devidamente aprovados pelo órgão ambiental estadual e, da mesma forma que a PNRS, condição para a solicitação de financiamentos a instituições oficiais. A implementação de vários pontos das Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos de Minas Gerais, Pernambuco, Rondônia, Santa Catarina depende de regulamentação das leis, o que ainda não ocorreu.

A Secretaria do Meio Ambiente (SMA) do estado de São Paulo foi responsável pela regulamentação da PERS de São Paulo. Em 2007 produziu uma minuta que foi discutida com representantes dos diversos setores envolvidos. Assim, após três anos da publicação da PERS, a regulamentação foi consolidada com o Decreto nº 54.645/09, de 06 de agosto de 2009, que

considera vários princípios, tais como: instrumentos econômicos, soluções regionais, rotulagem ambiental, segurança ambiental e diretivas para gestão, entre outros. Desta forma, propicia mudanças de filosofia, baseadas na Agenda 21, incluindo diretrizes como padrões sustentáveis de produção e consumo, responsabilidade pós-consumo (dos fabricantes aos distribuidores) e erradicação das disposições inadequadas nos aterros.

Entretanto, embora o Decreto esteja em vigor, os mecanismos que serão implantados para a efetivação da lei ainda não foram definidos pela SMA. O prazo era de oito meses, contados a partir da data de publicação do Decreto, para que a SMA elaborasse o Plano Estadual de Resíduos Sólidos em conjunto com outros órgãos ligados ao meio ambiente e à saúde pública.

De acordo com Guimarães (2010), a partir do reconhecimento que não existem novas tecnologias capazes de obter uma reciclagem total e o resíduo zero e que os custos são altos, o conceito básico para o plano de gestão de resíduos sólidos urbanos é um misto de soluções coerentes e complementares com a integração de técnicas de gestão e tecnologias para limpeza, manuseio, tratamento e disposição final de resíduos. O PGRS tem como objetivos diminuir geração, recuperar a parte reciclável ou reutilizável, valorizar a fração residual depois da reciclagem, reduzir o potencial poluente ou perigoso dos resíduos, bem como as quantidades a serem destinadas a aterro e respeitar sempre o princípio da proximidade, diminuindo o transporte e suas consequências ao meio ambiente.

Ainda segundo a mesma autora, a diretriz básica para os planos municipais de resíduos sólidos do Estado de São Paulo, em conformidade com o Artigo 8º do Decreto 54.645 de 05/08/2009 que regulamentou a PERS de São Paulo é a redução mínima de 6% no volume de rejeitos encaminhados à disposição final a cada cinco anos, com as seguintes recomendações:

- Investir fortemente nas ações de educação e conscientização ambiental na busca da redução e segregação na fonte geradora dos resíduos para implantar o sistema de coleta seletiva, centrais de triagem e serviços de containerização, associados ao aumento da valorização da reciclagem.
- Proceder imediatamente a alteração da destinação final dos resíduos de limpeza pública para instalações em condições ambientais e sanitárias adequadas.
- Buscar alternativas à destinação final diferente da destinação em aterros, como por exemplo, a destinação para uma Usina de Tratamento Térmico de Resíduos (UTTR) em estudo pela SSE.

- Implantar um sistema de indicadores para avaliação anual dos serviços contratados para a gestão de RSU.

O Plano Municipal de Saneamento é o principal instrumento da política municipal de saneamento que deve definir objetivos, metas e investimentos necessários à universalização do acesso a todos os serviços além de promover a articulação entre todos os serviços previstos no saneamento (abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas) e as demais políticas públicas, como recursos hídricos, saúde pública e desenvolvimento urbano. Deve contemplar, para os quatro serviços de saneamento:

- Levantamento, sistematização e análise de dados gerais (físicos, territoriais, sociais, econômicos e ambientais)
- Diagnóstico e estudo de demandas para a prestação dos serviços
- Objetivos e metas de curto, médio e longo prazos, para a universalização dos serviços
- Programas e ações necessárias para atingir os objetivos e as metas
- Ações para emergências e contingências;
- Indicadores e diretrizes para a avaliação dos resultados.

A estratégia da Secretaria de Saneamento e Energia (SSE) pelo Decreto no 52.895/08 é fazer os planos regionais integrados de saneamento das Bacias Hidrográficas e apoiar a elaboração de planos integrados de saneamento básico pelos municípios, uma vez que compete ao município planejar a política pública de saneamento (Artigo 9º da Lei Federal nº 11.445 de 2007).

2.2.3 Legislação específica para resíduos de poda urbana

De acordo com Meira (2010)³ apud Ninni (2010), a maior parte dos municípios brasileiros não tem sequer políticas para arborização urbana, quanto mais para a destinação e o reaproveitamento dos resíduos de poda urbana. Desta forma, a literatura destaca alguns municípios. Em Recife, o Decreto Municipal 18.082 de 13/11/98 regulamenta a lei Municipal

³ Ana Maria de Meira, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP),

16.337/09, a qual estabelece normas para a coleta e remoção de resíduos de poda, bem como o valor cobrado pelos serviços (FATIMA, 2003).

Já no estado de São Paulo, Ninni (2010) relata que vários municípios como Campinas, Santa Bárbara d'Oeste e São Carlos estão discutindo a regulamentação da destinação de resíduos de poda urbana. CPFL (2009) aponta que na área de concessão da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) há quarenta e duas leis municipais que dispõem sobre arborização urbana. Destas, apenas duas disciplinam a poda de árvores no município (Marília: Lei nº 3.991/94 e Ribeirão Preto: Lei nº 7.269/95) e apenas o município de Campinas legisla sobre os resíduos de poda urbana (Lei nº 9.970/98) obrigando as empresas prestadoras de serviços a recolherem, de imediato, os galhos das árvores podadas, decorrentes de manutenção feita em suas redes de energia elétrica, de telefonia ou sinais de televisão a cabo. Nota-se assim, que não há preocupação aparente com os resíduos de poda urbana gerados.

Em relação à área de concessão da AES Eletropaulo, região de estudo desta tese, o município de São Paulo possui a Lei nº 14.723 de 15 de maio de 2008 regulamentada pelo Decreto nº 51.664, de 26 de julho de 2010 que institui o Programa de Aproveitamento de Madeira de Podas de Árvores (PAMPA) que tem como objetivos gerar benefícios ambientais, reduzir o desmatamento, contribuir para aumentar a vida útil dos aterros e diminuir os custos de sua utilização, reduzir custos com o transporte dos resíduos provenientes da poda e remoção de árvores para os aterros e gerar receitas para o município de São Paulo. Para tal, o PAMPA precisará colocar em prática as seguintes ações:

- Implementação da poda de precisão pelas subprefeituras, conforme “Manual Técnico de Poda de Árvores da Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente”⁴, visando à diminuição da quantidade de intervenções no exemplar arbóreo proporcionando o aumento da vida útil e saudável da árvore;
- Instalação de centrais de processamento em locais previamente definidos pelo grupo de subprefeituras que compõem cada uma das quatro regiões administrativas do município de São Paulo (Norte, Sul, Leste e Oeste), após o licenciamento ambiental, devendo dispor de espaço para armazenagem do material encaminhado, bem como para instalação e funcionamento dos equipamentos a serem utilizados no processamento da madeira;
- Encaminhamento dos resíduos provenientes da poda e remoção de árvores a centrais de processamento para a triagem, a preparação do material para

⁴ Disponível em <http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/meio_ambiente/eixo_biodiversidade/arborizacao_urbana/0002/Manual_poda_final.pdf>. Acesso em 25 fev 2010.

produção de matéria-prima para a fabricação de artigos em madeira e o processamento dos resíduos para a preparação da mistura para compostagem, que poderá utilizar também os resíduos orgânicos provenientes da roçagem de áreas verdes.

Os materiais provenientes da transformação poderão ser utilizados pela própria prefeitura ou doados a órgãos públicos federais, estaduais ou municipais, sendo que o excedente poderá ser doado a entidades sem fins lucrativos ou fornecidos mediante o pagamento do correspondente preço constante da tabela de preços públicos, observados os limites e as condições fixados em portaria da Secretaria Municipal de Serviços.

O composto orgânico resultante do processo de compostagem não poderá ser utilizado para fins de cultivo de produtos alimentícios enquanto não forem realizados os testes para verificação dos componentes químicos presentes na madeira e folhas provenientes da poda e remoção de árvores.

O Pampa já obteve os seus primeiros resultados. A subprefeitura de Santo Amaro, pioneira na tentativa de aproveitar esses valiosos resíduos de poda urbana, possui um triturador que transforma cerca de 4 mil toneladas de resíduos recolhidos anualmente em húmus. A Subprefeitura da Lapa recolhe cerca de 4,5 mil toneladas por ano entre resíduos de poda urbana e caixaria da região do entorno da Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), que podem ter o mesmo aproveitamento dos resíduos de poda urbana. Em meados de abril de 2010, assinou uma parceria com uma cooperativa credenciada no sistema de coleta seletiva da cidade para produzir composto orgânico, cavaco e placa de fibra de madeira comprimida (MDF) e assim gerar renda com os resíduos de poda urbana. A subprefeitura cede o galpão e os resíduos de poda urbana e, do outro lado, a cooperativa o triturador e a mão de obra (NINNI, 2010). De acordo com Ribeiro (2010), esta parceria estava paralisada, devido às dificuldades da operação do triturador no galpão (informação verbal)⁵. Sabe-se que a subprefeitura da Mooca já tem o triturador e estava se preparando para aderir ao Pampa (informação verbal)⁶.

Nos outros municípios da área de concessão da AES Eletropaulo, destacam-se com alguma legislação específica para podas de árvores:

⁵ Informação fornecida por Ricardo Ribeiro, representante da Subprefeitura da Lapa, durante reunião de fechamento da 9ª Conferência de Produção Mais Limpa realizada em 19/08/10.

⁶ Informação fornecida pelo subprefeito da Mooca, durante reunião de fechamento da 9ª Conferência de Produção Mais Limpa realizada em 19/08/10.

- Mauá, com a Lei Municipal nº 3.337, de 06 de outubro de 2000 que dispõe sobre a obrigatoriedade da Eletropaulo efetuar poda das árvores localizadas sob rede de alta tensão;
- São Caetano Sul que tem duas leis municipais referentes à poda de árvores, (i) Lei Municipal nº 4143 de 19 de maio de 2003 que dispõe sobre execução do serviço (nada sobre resíduos) e (ii) a Lei Municipal nº 4895 de 27 de maio de 2010 que institui a ‘Campanha permanente de orientação e disciplina do plantio, remoção, corte e da poda de vegetação de porte arbóreo existente no município de São Caetano do Sul’, a qual prevê fornecer orientações a respeito do modo correto para plantio, remoção, corte e poda das árvores, a partir da análise legal e técnica de representantes da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Corpo de Bombeiros e a Companhia de Energia Elétrica, uma vez constatado perigo de galhos em fios da rede elétrica, prejuízo a semáforos e demais sinalizações de trânsito, e iminência de queda.
- São Bernardo do Campo com a Lei Municipal nº 4.974 de 31 de maio de 2001 que institui o código de posturas municipais, o qual cita os resíduos de poda urbana, mas não manifesta nenhuma destinação ou uso.

Nota-se, que nenhum município da área de concessão da AES Eletropaulo, exceto São Paulo, possui legislação específica para os resíduos de poda urbana. Na verdade, o aproveitamento dos resíduos de poda urbana não precisaria estar instituído em lei, bastaria o bom senso do poder público (e é claro, certo investimento) para que qualquer uma das práticas que serão apresentadas no Capítulo 3 fosse implantada isoladamente ou em conjunto.

Mais uma vez, espera-se que os resultados apresentados nesta tese, possam subsidiar os governos na seleção de métodos avançados e eficazes no gerenciamento deste resíduo.

2.3 Resíduos de Poda Urbana: Panorama Brasileiro

Sabendo-se que os governos municipais são os responsáveis pela execução dos serviços de podas de árvores; bem como pela gestão e destinação dos resíduos gerados, realizou-se levantamento junto às prefeituras dos municípios brasileiros com mais de 500.000 habitantes, que de acordo com IBGE (2006) são, em ordem decrescente de habitantes: São

Paulo, Rio de Janeiro, Salvador, Brasília, Fortaleza, Belo Horizonte, Curitiba, Manaus, Recife, Belém, Porto Alegre, Guarulhos, Goiânia, Campinas, São Luís, São Gonçalo, Maceió, Duque de Caxias, Nova Iguaçu, São Bernardo do Campo, Natal, Teresina, Campo Grande, Osasco, João Pessoa, Jaboatão dos Guararapes, Santo André, Uberlândia, Contagem, São José dos Campos, Feira de Santana, Sorocaba, Ribeirão Preto, Cuiabá, Aracaju, Juiz de Fora, Aparecida de Goiânia, Londrina, Ananindeua e Belford Roxo.

Foi realizada pesquisa nos *websites* das prefeituras destes municípios a fim de se obter o contato do responsável pela área de descarte de resíduos de poda urbana, para o qual foi enviado email e efetuadas ligações telefônicas, solicitando as informações sobre a quantidade e a destinação dada aos resíduos de poda.

Dos quarenta municípios consultados, apenas sete forneceram informações, como apresentado na Tabela 1. Nota-se que todos os municípios que forneceram os dados solicitados, apresentam quantidade relevante de resíduos de poda.

Também foi realizada pesquisa na literatura para efetuar levantamento da quantidade e destinação de resíduos de poda urbana nos municípios brasileiros. As informações obtidas estão na Tabela 2.

Tabela 1 - Quantidade e destinação de resíduos de poda urbana do levantamento realizado para este estudo

Município	UF	Quantidade	Destinação
Aracaju ^(a)	SE	1.778,06 t (ano de 2009)	Todo resíduo é depositado ainda no aterro sanitário.
Goiânia ^(b)	GO	40.000 t/ano (109 t/dia)	Aterro sanitário. Não há programa de reutilização dos resíduos de poda.
Londrina ^(c)	PR	180 t/dia	Não informada
Natal ^(d)	RN	80 t/dia (média)	Aterro licenciado, sendo que grande parte dos resíduos de poda é beneficiada pelas associações de catadores, que retiram a lenha para comercialização
Recife ^(e)	PE	Informação indisponível	Parte dos resíduos é triturada para ser transformada em adubo. O restante é pesado e destinado aos dois aterros privados pagos pela prefeitura.
São Bernardo do Campo ^(f)	SP	2.640 m ³ (ano de 2009)	São triturados e após a decomposição são utilizados em praças, parques e hortas comunitárias.
São José dos Campos ^(g)	SP	100 t/dia	Os resíduos de poda são repassados para empresa terceirizada que os utiliza para queima em caldeiras

Fonte: (Elaboração própria a partir de informação pessoal ⁷⁾)

⁷ (a) Francisco Ney Macêdo Maia. Gerente de Áreas Verdes da Empresa Municipal de Serviços Urbanos (EMSURB) ligada à Prefeitura Municipal de Aracaju. Mensagem recebida de francisco.maia@aracaju.se.gov.br

(b) Eng. Roberta V. N. Pinheiro. Assessora Técnica da Diretoria de Coleta. Mensagem recebida de robertavnnunes@hotmail.com

(c) Prof. José Paulo da Silva. Gestor de Resíduos Sólidos (jose.paulo@londrina.pr.gov.br)

(d) Ivanilde Ramos (urbana@natal.rn.gov.br)

(e) Recife Responde (reciferesponde@recife.pe.gov.br)

(f) Daniel Silva. (su3@saobernardo.sp.gov.br).

(g) Eugenio Sousa. Chefe do Departamento de Operações (gabinete@sjc.sp.gov.br)

Tabela 2 - Quantidade e destinação de resíduos de poda urbana provenientes de pesquisa na literatura

Município	UF	Quantidade	Destinação	Fonte
Niterói	RJ	1.070 m ³ por mês (galhos, madeiras e troncos)	Aterro Morro do Céu	EGENHEER, FERREIRA E ADLER (2005) apud ALVES (2007)
Rio de Janeiro ^a	RJ	15.383 mst./ano	Não informado	BARATTA JR. (2007)
Porto Alegre ^b	RS	150 – 200 m ³ por dia	Parque de Reciclagem e Compostagem de resíduos de poda no bairro de Serraria. As folhas e resíduos de pequeno porte são destinados à compostagem. Os de grande porte são fonte de energia térmica ou trocados por tijolos que são usados pela prefeitura.	BIDONE (2001)

^a serviços de poda executados por todas as equipes próprias e terceirizadas da Fundação Parques e Jardins (FPJ) do município do Rio de Janeiro.

^b Andrade (1994) apud Bidone (2001) relata que os resíduos de poda urbana de Curitiba e Londrina no Paraná têm destinação semelhante.

Fonte: (Elaboração própria)

Diante da pequena quantidade de informações, optou-se por consultar também os dados disponíveis no “Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2008”, realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades.

Este diagnóstico resume os dados obtidos do levantamento das informações efetuado diretamente junto ao órgão gestor municipal encarregado dos serviços de resíduos sólidos. A participação do município não é obrigatória. Desta forma, apesar da amostra de municípios ser crescente a cada ano, alguns não enviam os dados e outros os enviam incompletos ou com valores inconsistentes (SNSA, 2010a).

Nota-se, pelos resultados do Diagnóstico que há dificuldade em quantificar os resíduos sólidos no Brasil, uma vez que a taxa de adesão foi de 70,5%: dos 527 municípios convidados a participar, 372 forneceram respostas válidas, aumento de 21,5% em relação a 2007. Apesar de representar apenas 6,6% dos municípios brasileiros, a distribuição geográfica que pode ser vista na Figura 1 é uniforme e contempla 72% da quantidade de municípios brasileiros com mais de 250.000 habitantes localizados em todos os Estados, além do Distrito Federal. As

maiores fragilidades continuam em relação aos municípios de pequeno porte, que existem em grande quantidade no Brasil. A amostra publicada representa 50,7% da população total brasileira, sendo 58,3% da população urbana (SNSA, 2010a).

Figura 1 - Distribuição espacial do Diagnóstico de Resíduos Sólidos de 2008
Fonte: (SNSA, 2010a p.6)

A dificuldade de obtenção dos dados referentes à quantidade de resíduos de poda fica ainda mais evidente quando se verifica que, dos 372 municípios que aderiram ao levantamento SNIS de 2008, apenas 78 informaram as quantidades geradas e a destinação dos resíduos de podas de árvores, que podem ser vistos no Apêndice A. A quantidade total declarada de resíduos de poda urbana gerados no Brasil foi de 426.934 toneladas no ano de 2008 para os 78 municípios participantes.

A Tabela 3 apresenta a distribuição por estado para o ano de 2008 e o ano de 2007, quando, de acordo com SNSA (2009a) participaram 55 municípios e a quantidade de poda urbana total foi de 739.715 toneladas. A diferença da quantidade total do Brasil e por estado é devido ao fato de que municípios diferentes aderiram aos Diagnósticos de 2007 e 2008. O Apêndice B apresenta a quantidade e destinação declarada por município em 2007.

Tabela 3 - Quantidade de resíduos de poda urbana (toneladas/ano) por estado nos anos de 2007 e 2008

Estado	Quantidade de resíduos de poda urbana (t / ano)	
	2007 ^a	2008 ^b
AL	7.989	1.064
AM	9.075	3.906
AP	1.440	936
BA	12.698	33.625
CE	46.061	48.003
ES	2.809	4.229
GO	1.413	2.702
MA	2.425	101
MG	110.329	19.261
MS	390	4.959
PA	537	42.803
PB	2.800	29.547
PE	967	30.513
PR	355.761	5.144
RJ	4.844	14.616
RN	9.312	32.284
RO	16.259	1.964
RS	300	47.658
SE	47.659	280
SP	440	66.051
TO	1.417	37.288

Fonte: (Elaborado a partir de ^a SNSA, 2009b e ^b SNSA, 2010b)

A partir das informações de SNSA (2010b), pode-se observar no Gráfico 1 que a região Nordeste do Brasil é a que detém a maior quantidade declarada de resíduos de poda urbana, seguida pela região Sudeste. As regiões Norte, Sul e Centro-Oeste têm praticamente a mesma participação.

Gráfico 1 - Distribuição da quantidade dos resíduos de poda por região (em %)

Fonte: (Elaborado a partir de SNSA, 2010b)

O Gráfico 2 apresenta as destinações dos resíduos de poda urbana no Brasil declaradas no Diagnóstico de 2008 (SNSA 2010b). Pode-se verificar que 56% dos resíduos são encaminhados para aterros (34% para aterros sanitários, 2% para controlados e 20% para aterros sem definição do tipo), apenas 8% para central de podas, 3% para compostagem, 2% para lixões, 1% para unidades de transbordo e 30% não tiveram o destino declarado. Desta forma, pode-se concluir que entre 59% a 89% dos resíduos de poda urbana dos municípios amostrados no Diagnóstico do SNIS em 2008 tiveram destinação incorreta, ocupando volumes nos aterros e nos proibidos lixões, deixando de ter sua matéria orgânica e teor energéticos aproveitados.

Gráfico 2 - Formas de destinação dos resíduos de poda urbana no Brasil (em %)

Fonte: (Elaborado a partir de SNSA, 2010b)

Por não serem dependentes de uma atividade industrial, os resíduos de poda urbana têm grande potencial de utilização, pois são abundantes e independem do mercado econômico. Em se tratando de resíduos provenientes dos serviços de podas executados pelas concessionárias de energia elétrica, a grande vantagem é que não são sazonais, pois as empresas se programam para realizar tais atividades ao longo do ano, para que não fiquem sobrecarregadas nas épocas das chuvas e dos ventos fortes. Ressalta-se que na maioria das vezes, não se leva em conta qual a melhor época para a poda para determinada espécie.

A dificuldade na utilização dos resíduos de poda urbana reside, na maior parte das vezes, na gestão amadora e desorganizada feita pelos municípios brasileiros, que geralmente não têm controle da quantidade gerada e acabam desperdiçando este importante insumo que poderia ser submetido a processo de compostagem e usado para minimizar os custos com

adubação das áreas verdes dos espaços públicos. Também poderia ser usado em algum tipo de aproveitamento energético e fornecer energia elétrica, por exemplo, para a iluminação pública, também com a diminuição dos gastos públicos. Além, sem dúvida, da redução dos custos com o serviço da disposição destes resíduos em aterros.

Assim, esta tese apresenta no próximo capítulo, várias formas e respectivas tecnologias para o aproveitamento dos resíduos de poda urbana na área de concessão da AES Eletropaulo.

3. UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE PODA URBANA

A fim de apresentar subsídios técnicos, mercadológicos e operacionais para que esta tese possa avaliar proposta de valorização dos resíduos de poda urbana, este capítulo apresenta formas possíveis de utilização destes resíduos, divididas em dois grupos: sem aproveitamento energético e incluindo este aproveitamento.

Em relação ao aproveitamento não energético, são apresentadas duas aplicações: (i) reutilização pela confecção de pequenos objetos de madeira, por meio de atividades de artesanato, obras de arte, confecção de bancos de jardins, cercas, entre outros e (ii) compostagem, também conhecida como reciclagem orgânica.

Na vertente energética, são abordadas tecnologias relacionadas a processos físicos (briquetagem e peletização), processos termoquímicos (combustão, pirólise, gaseificação) e processos biológicos (digestão anaeróbia). Como complemento aos processos termoquímicos, são abordadas as tecnologias de ciclo a vapor e a incineração de resíduos.

Para se ter uma noção da importância da energia proveniente da madeira, de acordo com EPE (2010), a oferta interna de energia brasileira em 2009 foi de 243,9 milhões tep. Juntos, a lenha e o carvão vegetal representaram 10,1%, ou seja, 24,6 milhões tep. O uso de resíduos de poda urbana em substituição da lenha, principalmente a proveniente de florestas nativas, é possível e é contemplada no decorrer deste capítulo.

Mesmo que nem todas estas formas apresentadas sejam convenientes para a região metropolitana de São Paulo (área do estudo de caso apresentado nesta tese), e nem tampouco façam parte da avaliação econômica e ambiental deste trabalho, optou-se por abordar a maior quantidade de formas e tecnologias possíveis de aproveitamento, a fim de que os responsáveis pela gestão de resíduos de limpeza pública, sobretudo os de resíduos de poda urbana, possam fazer suas próprias escolhas, pois o importante é que tais resíduos não sejam simplesmente dispostos, desperdiçando esta valiosa matéria-prima, tanto como fonte de matéria orgânica para o solo como dendrocombustível. Não importa a forma pela qual os resíduos de poda urbana serão valorados, desde que seja sustentável.

3.1 Aproveitamento Não Energético

Com finalidades não energéticas de aproveitamento de resíduos de poda urbana, são apresentados com detalhes a confecção de pequenos objetos de madeira e os processos de compostagem. Apenas para citar, outro uso mencionado por Maccarini (2007) é a utilização dos resíduos de poda urbana triturados (chamados de maravalha seca) como camas de aviários. Para estimar a quantidade de resíduos de poda urbana que poderiam ser usados para esta finalidade, cada milhar de aves necessita de seis metros cúbicos de maravalha seca. IBGE (2010) informa que em setembro de 2010, o Brasil possuía cerca de 117 milhões de galinhas poedeiras, e assim seriam necessários aproximadamente 700 mil m³ de resíduos de poda urbana para esta finalidade.

3.1.1 Confecção de Pequenos Objetos de Madeira

Os resíduos de poda urbana podem ser usados na produção de pequenos objetos de madeira (POMs) como artigos domésticos, peças decorativas, equipamentos esportivos, objetos artesanais, brinquedos educativos (jogos de memória e de damas, quebra-cabeças) sendo que os galhos de maior diâmetro podem ser empregados na produção de artesanato, utensílios domésticos e mobiliário urbano.

Exemplos destes objetos podem ser vistos em Lopes (2009) que desenvolveu, testou e aprovou 17 POMs (entre porta-canetas, porta-cartões, porta-papéis, luminária, revestimento, apoio para pratos quentes, cachepô, caixa multiuso, relógio, porta-retratos, porta-talheres) com resíduo madeireiro de uma indústria de esquadrias localizada em Tietê (SP), respeitando a linguagem estética e funcional que cabe ao produto feito de matéria-prima residual. Alguns destes POMs podem ser produzidos com resíduos de poda de árvore urbana.

A confecção de POMs com tais resíduos é uma forma de diminuir o desperdício da madeira, valiosa matéria-prima (STERNADT, 2002 apud MEIRA, 2010) e de criar alternativa de geração de renda para trabalhadores não qualificados, podendo empregar mão de obra de comunidades carentes, capacitando trabalhadores para uma nova profissão, melhorando a autoestima e promovendo a união daquelas pessoas, anteriormente subempregadas ou sem

ocupação. Também, pode atrair pequenos investidores e incentivar a cultura tradicional. A relevância desses projetos deve-se à viabilidade econômica da obtenção de matéria-prima (muitas vezes gratuita), à diversidade de produtos e ao baixo preço final de venda (LOPES, 2009).

Meira (2010) estudou as características e o potencial de aplicação de resíduos de poda das nove espécies mais frequentes (Ipê, Oiti, Sibipiruna, Quaresmeira, Resedá, Falso-chorão, Chapéu-de-sol, Ficus-benjamim e Espiradeira) na arborização urbana do município de Piracicaba no estado de São Paulo. Concluiu que com relação à análise física da madeira (umidade, densidade básica aparente e cor) não há restrições para a utilização da madeira proveniente da poda urbana para a produção de POMs. Contudo, este tipo de análise permite direcionar melhor a aplicação para a produção de objetos de uso doméstico. Recomenda a análise sensorial para os objetos de cozinha e os brinquedos.

A valorização da forma natural da madeira, como a casca e a sua forma demandam menor número de operações, e assim, a diminuição do processamento acarretaria em menor custo operacional. Meira (2010) afirma que para viabilizar a utilização de resíduos de poda urbana na fabricação de objetos de madeira são necessários: criação de programas ou projetos de desenvolvimento de produtos e seu aprimoramento; qualificação e capacitação da mão-de-obra; estabelecimento de infraestrutura para a produção em pequena, média ou larga escala com triagem, armazenamento e eventual secagem dos resíduos de poda e desenvolvimento de programas de *marketing* para que tais produtos sejam reconhecidos pelo seu *ecodesign* e diferencial socioambiental.

3.1.2 Compostagem

A compostagem é a decomposição aeróbia (com presença de ar) da matéria orgânica pela ação de organismos biológicos, em condições físicas e químicas adequadas. A matéria orgânica pode ser sobras de frutas, legumes e cultivos, restos de alimentos, folhas e galhos de poda de árvores, gramas, palhas de café e milho, entre outros. É um processo de transformação da matéria orgânica crua em substâncias húmicas, estabilizadas, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhes deu origem, clamado comumente de composto orgânico (KIEHL, 1985).

Como se trata de um processo biológico desenvolvido por microorganismos, é necessário o controle de alguns fatores como umidade, oxigenação, temperatura, concentração de nutrientes, tamanho da partícula e pH para propiciar aos microorganismos um ambiente favorável para a degradação, a estabilização e a humificação da matéria orgânica bruta. Além disso, este controle tem como objetivo viabilizar o potencial de fertilização da matéria orgânica e de evitar potenciais fatores adversos que causam impactos ao meio ambiente (PEREIRA NETO, 1999). Tais impactos são apresentados no item 6.1.4.

Como resultados desse processo biológico, são gerados dois componentes importantes: sais minerais, contendo nutrientes indispensáveis para as raízes das plantas, e húmus, um componente necessário para desenvolver as propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo (KIEHL, 1998). Além disso, no processo de compostagem ocorre a produção de dióxido de carbono (CO_2) e água.

Segundo Kiehl (1998) e Pereira Neto (1996), o processo de compostagem é efetuado em três fases distintas. A primeira fase, também conhecida como fase fitotóxica, tem início com a montagem das leiras. Nesta fase ocorre a decomposição da matéria orgânica facilmente degradável, como por exemplo, carboidratos. Durante um período de cerca de quinze dias iniciais, é possível eliminar as bactérias patogênicas, como por exemplo, as salmonelas, ervas, inclusive as daninhas, ovos de parasitas, larvas de insetos, entre outros. Nesta fase, proteínas, aminoácidos, lipídios e carboidratos são rapidamente decompostos em água, gás carbônico e nutrientes (compostos de nitrogênio, fósforo, etc.) pelos microorganismos, liberando calor (característica da compostagem, que é um processo exotérmico e bio-oxidativo). Temperaturas acima de 75°C indicam condições inadequadas (substituição da ação biológica dos microorganismos termófilos por reações químicas) e podem causar a produção de odores, devendo ser evitadas. Nesta fase, o material compostando não pode ser utilizado como fertilizante orgânico, pois sua toxicidade pode ser letal às plantas (KIEHL, 1998).

Na segunda fase, ou fase de bioestabilização ou semimaturação, as bactérias ativas são actinomicetos e fungos. A temperatura fica na faixa de 30°C a 45°C . Neste estágio de decomposição, a matéria orgânica não se mostra mais danosa às plantas, mas também ainda não tem valor comercial, pois não está humificada. Na terceira fase ou fase de maturação ou humificação, a celulose e a lignina são transformadas em substâncias húmicas, que caracterizam o composto. Nesta fase a temperatura cai para a faixa de 25°C a 30°C . A matéria orgânica do húmus (composto) se caracteriza por ser estável e, portanto, mais resistente à decomposição pelos microorganismos. No solo, as substâncias húmicas lentamente são decompostas pelos microorganismos e liberam nutrientes que são utilizados pelas raízes das

plantas. A coloração do composto torna-se mais escura, com certo brilho quando úmido, assim perde o cheiro forte inicial para ganhar o odor característico de terra adubada.

Seja qual for a tecnologia utilizada, a compostagem é considerada um dos mais antigos e eficientes processos biológicos de tratamento e reciclagem da matéria orgânica. Barreira (2005) afirma que o uso do composto como condicionador de solo na agricultura revela a sustentabilidade do sistema, pois retorna ao solo os nutrientes absorvidos pelas plantas, retirados nas colheitas, ingeridos pelos homens e que, sem a compostagem, simplesmente são considerados lixo ou restos inaproveitáveis, tornando-se eventuais poluentes e contaminantes do meio ambiente.

O capítulo 4, que apresenta o estudo de caso desta tese, descreve as ações de implantação, controle e monitoramento das leiras de compostagem do projeto piloto da usina experimental de compostagem desenvolvida no Projeto de P&D Aneel “Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo”.

3.1.2.1 Tecnologias de Compostagem

A compostagem é uma prática desenvolvida empiricamente desde a Antiguidade por diferentes povos. De acordo com Bidone (2001) em 1920 foi estabelecido um marco em relação à compostagem, quando o processo passou a ser pesquisado cientificamente.

Os processos de compostagem são apresentados de acordo com a seguinte classificação: sem revolvimento, com revolvimento (subdividido em manual ou mecânico), aeração estática e compostagem em reatores biológicos; sendo os três primeiros baseados na montagem de leiras (ou pilhas). O controle do teor de umidade na pilha garante que a vida microbiana atue eficientemente. A falta de água pode bloquear a fermentação. Por outro lado, mau cheiro e presença de moscas podem ser indicativos de que a pilha está muito úmida ou está com aeração insuficiente.

A aeração adequada também garante um bom crescimento das bactérias aeróbicas e tempo de compostagem menor. Assim, ao mesmo tempo em que ar novo é introduzido no interior das leiras (rico em oxigênio), ocorre liberação do ar ali contido saturado de gás carbônico, produzido pela respiração dos microorganismos. Essa renovação é importante, pois o teor de gás carbônico existente no interior da leira pode chegar a concentrações cem vezes

maiores que seu conteúdo normal no ar atmosférico (KIEHL, 1998). Faltando oxigênio na leira, há formação e acúmulo de dióxido de carbono e metano, componentes característicos da fermentação anaeróbia, que retardam a degradação da matéria orgânica, sendo o metano responsável por odores desagradáveis.

Em qualquer método de compostagem, é necessário que ocorra a completa degradação (transformação) dos resíduos orgânicos para que os cultivos alimentares não sejam contaminados pelo composto e nem tampouco as sementes morram. Todos os processos descritos a seguir são perfeitamente utilizáveis com os resíduos de poda urbana.

3.1.2.1.1 Compostagem Sem Revolvimento

Os métodos de compostagem sem revolvimento são os mais antigos e comumente usados em larga escala nas áreas agrícolas, e certamente ainda em uso. Campbell (1995) apresenta dois métodos:

- a) Compostagem em Superfície: consiste em misturar matéria orgânica (folhas, aparas de grama e esterco) no solo com a ajuda de uma enxada, a fim de fornecer nutrientes ao solo para plantio. É realizado no final da estação de cultivo.
- b) Compostagem em Covas e Trincheiras: consiste em enterrar resíduos orgânicos diretamente no solo em covas ou trincheiras, usualmente em fileiras de 90 cm de largura, divididas em três faixas de 30 cm cada.

Como vantagens, a compostagem em covas sob a terra permite que bactérias, fungos anaeróbicos e minhocas transformem os resíduos orgânicos em solo rico em nutrientes. Pode melhorar amplas áreas de solo, no qual é realizado o plantio direto, característica vantajosa do método, pois não há necessidade de transporte do produto acabado. Também, pode processar grandes quantidades de matéria orgânica, pois não requer espaço físico e desta forma não altera visualmente o ambiente. Não demanda controle do processo, pois o material em decomposição permanece aquecido durante o inverno e úmido durante o verão. Como desvantagem, exige mão de obra para incorporar o material ao solo e demanda vários meses para finalizar a decomposição.

3.1.2.1.2 Processos de Compostagem com Revolvimento

Os processos com revolvimento manual são considerados artesanais e são geralmente aplicados para tratar pouca quantidade de resíduos, pois requerem muita mão de obra para o revolvimento das leiras. Cenbio (2007b) relata locais nos municípios de São Paulo, São Bernardo do Campo, Osasco, entre outros que usam estes tipos de método. Muitos projetos experimentais, como o próprio projeto piloto de compostagem de resíduos de poda urbana que será descrito no capítulo 4, usam o método de compostagem com revolvimento manual. Os principais métodos com aeração manual relatados por Campbell (1995) são:

- a) Método de Howard (ou Indore): as pilhas devem ser construídas alternando camadas de 15 cm de material vegetal verde e seco e camadas de 5 cm de esterco (ativador) até altura aproximada de um metro e meio. Para finalizar, a pilha deve ser umedecida e orifícios para ventilação devem ser cavados.
- b) Método da Universidade da Califórnia: com esse método é possível produzir um composto apropriado em 14 dias, desde que o material a ser compostado seja (i) cortado, picado ou triturado (para aumentar a superfície de exposição da matéria orgânica); e (ii) misturado com ativadores ricos em nitrogênio (como esterco) antes da operação de fragmentação, para assegurar eficiente homogeneização e ataque mais rápido dos microorganismos. As pilhas montadas devem medir entre 1,2 e 1,5 m de altura e sofrerem revolvimento frequente (a cada 3 dias).
- c) Método Rápido de Compostagem: é apropriado para folhas em pequena quantidade, as quais são depositadas no solo com adição de esterco fresco e um pouco de composto ou solo, formando leira com 1 m de altura e 2 m de largura, que depois de montada deve ser revolvida e umedecida pela adição de água e ficar coberta com plástico por quatro dias. Os revolvimentos são efetuados a cada duas semanas.
- d) Método de Três Pilhas de Ogden: Dentre os métodos aqui apresentados, este é o que exige menos cuidados, e conseqüentemente, demora mais tempo para a produção do composto (cerca de dois anos). São usadas três pilhas de material orgânico a compostar, cada uma medindo 1,5 m por 3,6 m com laterais feitas de carvão ou placas de grama. Apenas duas dessas pilhas são revolvidas uma vez por ano enquanto a terceira recebe, durante o verão, uma mistura de resíduos de horta e

uma parte das outras pilhas (e esterco, ocasionalmente). Durante o outono, esta terceira pilha é coberta com esterco ou placas de grama com as raízes viradas para cima.

- e) **Método da Compostagem Biodinâmica:** A pilha deve ser montada com base de largura máxima de 3,6 m; altura entre 0,6 e 1,5 m, lados inclinados e o comprimento desejado. Os resíduos são dispostos pré-misturados ou em camadas com espessura de até 5 cm, sempre com a adição da solução inoculante biodinâmica (preparada de acordo com as receitas específicas da biodinâmica, filosofia prática da agricultura desenvolvida a partir dos ensinamentos de Rudolf Steiner, um filósofo famoso por sua visão de mundo, conhecida como antroposofia, que enfatiza a unidade de todos os processos da vida). A camada final é de palha, feno ou folhas. Assim, Campbell (1995) acredita que este método produz composto de qualidade superior aos outros métodos.

O Quadro 2 apresenta as vantagens e desvantagens dos métodos de compostagem com revolvimento manual descritos anteriormente.

Método	Pontos positivos	Pontos negativos
de Howard (ou Indore)	- decomposição rápida	- grande quantidade de mão de obra para revolvimento (aeração) e controle.
da Universidade da Califórnia	- morte de sementes de ervas daninhas e patógenos	
Rápido de Compostagem ^(a)	- composto obtido é rico em nutrientes, devido à baixa lixiviação	não há.
	- possui pequena probabilidade de atrair animais e moscas, pois não exala mau cheiro.	
de Três Pilhas de Ogden	- facilidade de instalação e de adição de material	- tempo excessivo de decomposição - grande possibilidade de apresentar mau cheiro e atrair moscas e animais - perda de nutrientes por lixiviação. - como a pilha não é revolvida, pode ocorrer fermentação anaeróbia, além da chuva levar todo o chorume e ocorrer perda de nutrientes.

^(a) por ser mais rápido que os métodos Howard e da Califórnia, requer menos mão de obra.

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens dos métodos de compostagem com revolvimento manual

Fonte: (Elaboração própria a partir de Campbell, 1995)

Os métodos de compostagem com revolvimento mecânico requerem que o local de instalação seja tecnicamente apropriado em relação às condições do solo, topografia e sistema de drenagem. As leiras devem ser dimensionadas de forma que não haja perda de calor, para manutenção do processo de degradação aeróbia. As mais comuns são as de seção triangular com altura de 1,5 a 1,8 m e base com 4 a 4,5 m. O espaçamento é determinado em função das características do equipamento que fará o revolvimento (REIS, 2005).

Podem ser usadas máquinas específicas para misturar e revolver o material em decomposição como implementos tracionados por tratores ou autopropelidos, que se deslocam sobre as leiras, mas na prática são usadas pás carregadeiras ou retroescavadeiras, que de acordo com Fernandes e Silva (1999) tem eficiência menor, mas podem ser utilizados com bons resultados.

As leiras devem ser revolvidas ao menos três vezes por semana a fim de aerar a massa de resíduos em compostagem, aumentar a porosidade do meio que sofre compactação devido ao próprio peso, homogeneizar a mistura, controlar a temperatura do processo, entre outros. Fernandes e Silva (1999) afirmam que a etapa termófila dura de 1 a 2 meses, e a etapa de maturação requer revolvimento a cada 20 - 25 dias, e leva de dois a três meses.

Um método simplificado é a “compostagem passiva”, apresentado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) e recomendado para partículas uniformes, como é o caso dos resíduos de poda triturados. É muito econômico, pois as leiras são montadas e revolvidas uma vez por ano. A temperatura e a umidade das leiras são controladas pela própria configuração geométrica. Usepa (1994) recomenda que o pátio de compostagem seja montado em regiões pouco populosas e que sejam instaladas cortinas vegetais para emissão dos odores. Estas recomendações mostram que o processo talvez não se mantenha anaeróbio o suficiente para evitar a propagação de odores.

3.1.2.1.3 Compostagem com Leira Estática Aerada

O princípio de funcionamento da compostagem com leira estática aerada é a aeração forçada sob baixa pressão, sendo que a leira em decomposição não é revolvida, permanecendo estática durante todo o processo de compostagem. Foi inicialmente desenvolvido nos Estados Unidos da América para tratar o lodo de esgoto, mas atualmente é utilizado para qualquer tipo

de resíduo homogêneo e com granulometria suficiente para garantir boa permeabilidade ao ar insuflado.

A aeração das leiras é feita pela passagem de ar nos furos de uma tubulação plástica ou metálica colocada no piso do pátio de compostagem ou por estreitas canaletas abertas no pátio, preenchidas com brita até o nível do piso. A colocação de uma camada (15 a 20 cm de espessura) de cavacos de madeira ou lascas de borracha provenientes de pneus inservíveis é indispensável para atuar como leito filtrante para água de drenagem e chorume, além de facilitar a passagem do ar na leira (KIEHL,1998).

A leira é recoberta com uma camada de material humificado e peneirado de 30 cm de espessura, cuja finalidade é reter o calor formado e filtrar o mau cheiro que pode se desprender do composto. Terminada a cura do composto, o processo de peneiramento permite recuperar as lascas de borracha para serem utilizadas novamente.

O projeto piloto de compostagem de resíduos de poda urbana do P&D Aneel “Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo” descrito no capítulo 4, usou em metade das leiras um método de aeração estática e natural, sem a necessidade de tubulações e sopradores para o insuflamento de ar nas leiras.

3.1.2.1.4 Compostagem em Reatores Biológicos

A decomposição da matéria orgânica (fases termofílica e mesofílica. ocorre no interior dos reatores biológicos (também chamados biodigestores ou bioestabilizadores), que podem ser contínuos (nos quais o tempo de detenção é definido pela velocidade com a qual os resíduos percorrem todo o reator) ou batelada (os resíduos são alimentados e permanecem no seu interior até o final da etapa termofílica quando são descarregados, resíduos frescos são alimentados e o processo reinicia).

Os reatores contínuos podem ter fluxo (i) vertical: parecem silos, nos quais os resíduos são alimentados pela parte superior e percorrem o reator no sentido descendente, com ar injetado em vários níveis ou apenas na parte inferior ou (ii) horizontal: são geralmente de forma cilíndrica, abertos ou fechados (conhecidos como túneis), dispostos horizontalmente, sendo os resíduos alimentados por uma extremidade e retirados pela outra, sendo que nos sistemas fechados, o ar é injetado sob pressão ao longo dos túneis.

O tipo de reator batelada mais conhecido é o sistema horizontal “Dano”, constituído de grandes cilindros com diâmetro de 3 m e comprimento de 35 m e dotado de filtros especiais na saída para limpar os gases. Tem capacidade diária de 50 t e período de detenção de 3 dias.

A Usina de Leopoldina, uma grande usina de compostagem de resíduos sólidos urbanos do município de São Paulo localizada no bairro de mesmo nome, funcionou de 1974 a 2004 e utilizava o sistema Dano com seis reatores. Foi fechada em consequência das ações promovidas pelo Ministério Público devido a reclamações por causa do mau cheiro, que incomodava os moradores da região.

De acordo com Barreira (2005) a usina foi projetada para receber resíduos da CEAGESP e das feiras livres, mas nos últimos anos de operação, após reestruturação, a usina tratava os resíduos sólidos domiciliares (RSD) dos bairros de Pinheiros, Butantã e Lapa operando 24 horas por dia com o dobro da capacidade instalada. Os RSD permaneciam nos bioestabilizadores por 16 a 24 horas, embora o tempo de retenção recomendado fosse de 72 horas. Também não era feita a maturação do composto, por falta de espaço.

Assim, pode-se perceber que a má gestão de uma usina de compostagem provida de equipamentos sofisticados levou ao encerramento de suas atividades, diminuindo a oferta de reciclagem orgânica do lixo, tão importante nos grandes centros urbanos. Haja vista que Barreira (2005) informa que as usinas de compostagem de Leopoldina e de São Mateus (também fechada) juntas eram a segunda maior forma de destinação de RSU do município de São Paulo no ano de 2004.

3.1.2.2 Vantagens e Desvantagens dos Sistemas de Compostagem Apresentados

Uma compostagem eficiente não depende necessariamente de utilização de tecnologia sofisticada. O importante é o controle de qualidade dos resíduos que serão processados e o monitoramento do processo. Para seleção da tecnologia a ser estudada, é necessário avaliar critérios técnicos, econômicos e ambientais.

Esta tese não tem como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica dos vários métodos de compostagem apresentados. Assim, a partir de informações da literatura, elaborou-se o Quadro 3 que apresenta uma análise qualitativa de algumas variáveis relacionadas à instalação, operação, manutenção e controle dos processos de compostagem

com leiras revolvidas (manual e mecanicamente), leiras estáticas e reatores biológicos baseados na mesma quantidade de resíduos de poda a compostar.

Parâmetros		Leiras com Revolvimento		Leiras	Reatores
		Manual	Mecânico	Estáticas	Biológicos
Investimento inicial		-	-	-	+
Área		+	+	-	--
Flexibilidade de compostar volumes variáveis de resíduos		sim	sim	sim	não
Equipamentos		simples	simples	simples	sofisticados
Operação e manutenção		simples	simples	simples	sofisticadas
Operação influenciada pelo clima		sim ^a	sim ^a	sim ^a	não
Quantidade de mão de obra		+	+	-	--
Qualificação da mão de obra		--	-	+	++
Tempo de estabilização do composto		+	+	-	-
Facilidade do Controle	Umidade	-	-	-	+
	Temperatura	-	-	+	+
	Aeração	-	-	+	+
	Odor	-	-	+	+

Legenda: - pequena(o) -- muito pequena(o) + alta(o) ++ muito alta(o)

^a a dependência do clima é amenizada se as leiras forem montadas num pátio coberto ou se forem cobertas com plástico ou lona.

Quadro 3 - Comparativo entre os de sistemas de compostagem

Fonte: (Elaboração própria a partir de Reis, 2005)

A partir das variáveis apresentadas, é possível verificar a relação entre o custo e a complexidade tecnológica, como apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Comparação esquemática dos métodos de compostagem

Fonte: (Elaboração própria a partir de Reis, 2005)

3.1.2.3 Utilização de Resíduos de Poda Urbana para Compostagem

Na literatura, há poucos relatos de utilização de resíduos de poda urbana em grande escala, quer para fins energéticos ou não. Em seu trabalho, Fátima (2003) estima que o município de Recife tenha gastos anuais da ordem de doze milhões de reais em adubação nas suas 219 praças, projetando economia de 50% do valor estimado, caso o município utilize o composto orgânico produzido a partir da compostagem dos resíduos de poda em conjunto com a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos e esterco bovino. O aterro Muribeca realiza compostagem, mas apenas de uma pequena parte dos resíduos.

Belo Horizonte iniciou a compostagem dos resíduos de poda na Unidade de Compostagem Municipal e produziu 105 toneladas de composto orgânico em março de 2002, com a técnica da compostagem simplificada (montagem de leiras com os resíduos de poda e resíduos de feiras livres e sacolões), sendo o revolvimento feito por trator (FATIMA, 2003).

Baratta Jr. (2007) concluiu que o uso de resíduos de podas de espécies diferentes resultou em marchas distintas de temperatura durante a compostagem; sendo aconselhável então o uso de espécies variadas e sendo possível a compostagem de resíduos da poda da arborização pública sem a utilização de outras fontes orgânicas. O composto assim produzido na área de estudo apresentou níveis permissíveis de metais tóxicos; podendo ser usado na

confecção de substratos para produção de mudas; sendo assim benéfico para as prefeituras de grandes cidades, minimizando gastos na aquisição de material orgânico para produção de mudas, confecção de canteiros para ajardinamento e na arborização urbana.

A preocupação com a destinação adequada dos resíduos de poda é crescente. Florianópolis (2010) relata que a capital de Santa Catarina deposita os resíduos provenientes das podas no aterro de Inertes do Monte Verde, no bairro Saco Grande, que encerrará suas atividades. Assim, a Prefeitura Municipal de Florianópolis por meio da Companhia Melhoramentos da Capital (COMCAP) elaborou o projeto “Valorização dos Resíduos Sólidos Orgânicos no Município de Florianópolis através de Beneficiamento dos Resíduos de Podas” que foi aprovado em dezembro de 2010 pelo Conselho do Fundo para a Reconstituição de Bens Lesados (FRBL), do Ministério Público de Santa Catarina. Por meio do projeto, a COMCAP atuante na área de resíduos sólidos, adquirirá equipamentos de beneficiamento dos resíduos de podas para realizar a compostagem. Assim, acabará com o problema de escassez de área para depósito desses resíduos, além de diminuir custos em geral. O convênio seria celebrado até o final de 2010 e o repasse dos cerca de R\$ 180.000,00 deverá ocorrer em 2011.⁸

Na área de concessão da AES Eletropaulo, Cenbio (2007b) relata a experiência bem sucedida de dois municípios com a compostagem dos resíduos de poda urbana. No município de São Bernardo do Campo, a compostagem é realizada em terreno da prefeitura localizado no Bairro Batistini.

Neste local, são depositados todos os detritos provenientes da poda de árvores do município de São Bernardo do Campo (incluindo as realizadas pelas empresas contratadas pela AES Eletropaulo). A compostagem é feita somente com os galhos finos (com diâmetro inferior a 10 polegadas), que são triturados com equipamento próprio. Os galhos grossos são doados para serem utilizados como lenha vegetal. As leiras são montadas com alturas aproximadas de 2 a 3 metros e largura de cerca de 4 metros. Não há qualquer tipo de impermeabilização do solo ou captação de chorume. Não é realizado nenhum tipo de controle físico-químico das leiras, estando elas sujeitas às condições climáticas.

As leiras não são reviradas, e permanecem montadas seis meses. Terminada a fase de maturação, o composto é peneirado e depois é utilizado em horta no próprio local e também é distribuído para outras hortas comunitárias e escolas municipais de São Bernardo do Campo.

⁸ Convênio ainda não celebrado, verba não repassada e sem resultados parciais. De acordo com Mário Santos Garcez Filho da secretaria executiva de controle interno e ouvidoria da prefeitura municipal de Florianópolis. Atendimento: 5122/2011. Mensagem recebida por clcortez@iee.usp.br, em 4 mai 2011.

Todo o resíduo de poda do município de Osasco é encaminhado ao parque Chico Mendes, localizado no bairro de Bussocaba; sob responsabilidade da Secretaria do Meio Ambiente de Osasco. No parque, os resíduos de poda são destinados de três modos distintos, descritos a seguir.

Os troncos grossos provenientes da remoção de árvores são encaminhados ao Ecoponto (localizado no mesmo parque), onde são empilhados a céu aberto, serrados para a retirada dos galhos finos e folhas e dispostos em caçambas para serem usados por empresa do ramo de produção de mdf. Os outros resíduos de poda de árvores, com galhos mais finos (menor quantidade de material lenhoso) são encaminhados para outra área do parque, a área de compostagem.

Nesta área, os resíduos são depositados a céu aberto para a trituração. Após serem triturados, são misturados com esterco das baias de cavalos do próprio Parque Chico Mendes ou frutas deterioradas provenientes da Secretaria de Abastecimento. As leiras são montadas em camadas alternadas de 15 a 30 cm de esterco e resíduos de poda triturada, sendo a última camada de poda de grama (ou aparas de folhas).

As dimensões das leiras são aproximadamente: largura 2 metros, comprimento 6 metros e altura entre 1,20 a 1,70 metros. O reviramento é feito de 30 em 30 dias. É realizado manualmente com pás e rastelos, trabalho que demora 8 horas com utilização de dois homens. O composto obtido (usado na proporção de 3 partes de terra para 1 parte de composto) é utilizado para adubação dos canteiros municipais e nos parques do município de Osasco. Às vezes, farinha de osso é adicionada ao composto (depende da planta na qual será utilizado).

O restante dos resíduos de poda urbana é usado em cercamentos de canteiros e confecção de bancos para os parques municipais. Os resíduos de poda de árvores são contabilizados em cerca de 50 toneladas por mês. Para todo o processo de manejo dos resíduos de poda urbana, o parque conta com a mão de obra de cinco funcionários.

3.2 Aproveitamento Energético dos Resíduos de Poda Urbana

Martins (1980) afirma que a madeira, assim como os resíduos de poda urbana, é constituída, aproximadamente de 50% de carbono, 6% de hidrogênio e 44% de oxigênio independentemente da espécie, diferenças genéticas ou idade. Quimicamente, a madeira é heterogênea, sendo constituída principalmente por três polímeros: celulose, hemicelulose e

lignina, numa proporção de cerca de 50:20:30. Variações ocorrem entre as madeiras folhosas e coníferas, além da espécie e idade. Os demais componentes (chamados de compostos extrativos) estão presentes em menor quantidade, têm baixo peso molecular e são encontrados sobretudo na casca, são os terpenos, óleos essenciais, resinas, fenóis, taninos, graxas e corantes.

O modo mais prático e fácil de produzir energia da biomassa é por meio da combustão da própria madeira ou de seus rejeitos (MARTINS, 1980). De acordo com Pérez (2010) os motivos que levaram à utilização da biomassa vegetal como fonte de energia são a renovabilidade contínua, a redução das emissões nocivas e a contribuição na preservação do equilíbrio ecológico. Nos países em desenvolvimento, ainda é o combustível mais barato, tanto por tonelada, quanto por unidade de energia. Propicia o uso de mão de obra não qualificada, gera emprego e contribui para a fixação do homem no campo. Pode ser armazenada em espaço livre e aberto, contém baixo teor de cinzas e quantidade ínfima de enxofre.

Como limitações, Pérez (2010) cita o pequeno e desigual desenvolvimento da infraestrutura necessária para a colheita, condicionamento, transporte, armazenamento e mercado; o pouco sucesso na substituição direta das matérias-primas procedentes do petróleo e a escassa disponibilidade de tecnologias de conversão termoquímica em escala comercial. Martins (1980) também alerta que por ser necessária muita mão de obra para o manejo da biomassa, nos países desenvolvidos onde os salários são mais altos, proporciona a elevação do custo, sendo uma desvantagem para estes países. Também há necessidade de planejamento e organização intensivos para evitar o fornecimento irregular, tendo em vista as grandes quantidades exigidas, por ter poder calorífico menor do que o dos combustíveis fósseis, como pode ser visto na Tabela 4.

Segundo Pérez (2010), os critérios de avaliação do potencial energético da biomassa são propriedades físico-químicas; energia útil disponível; custo da tonelada de matéria orgânica seca; os tipos e quantidades de resíduos sólidos e efluentes gasosos produzidos após o uso da biomassa e principalmente o teor de umidade. Nas regiões tropicais, a madeira é cortada de três a quatro meses antes de ser queimada e nas regiões temperadas, de seis meses a um ano. Tais períodos são suficientes para reduzir a umidade em até 30% (MARTINS, 1980).

Tabela 4 - Poder calorífico superior de vários combustíveis

Combustível	Poder Calorífico Superior (kcal/kg)
Carvão vegetal⁹	7.100
Lignito	4.000
Madeira (25 a 30% de umidade)	3.500
Madeira seca	4.700 a 5.000
Óleo combustível	9.800
Parafina	10.400

Fonte: (Martins, 1980)

Como fonte primária de energia, a madeira é representada pela lenha, que no início do século XX era o principal energético primário do Brasil (LEITE, 1997 apud JOAQUIM, 2009). Atualmente, a lenha representa 10,2% do total de 241 milhões tep de energia primária produzida no Brasil. Em relação a 2008, representou uma queda real de 4,7 milhões tep. O consumo de lenha no Brasil em 2009 foi de 16,6 milhões tep, ou seja 7,5% do total da energia consumida (EPE, 2010).

O Gráfico 3 mostra a evolução do uso da lenha nos setores de transformação (carvão vegetal e energia elétrica), residencial, industrial e agropecuário no período de 1975 a 2009. A grande queda do uso da lenha no setor residencial entre 1975 e 1996 foi consequência da substituição dos fogões a lenha por gás liquefeito de petróleo (GLP). É interessante observar que, no segmento residencial, o efeito da sociedade é significativamente maior do que nos outros segmentos (EPE, 2009). Sendo a lenha residencial ainda consumida em todo o Brasil, com exceção de São Paulo, Rio de Janeiro e Distrito Federal (UHLIG, 2008).

Em 2009, de acordo com EPE (2010) o Brasil produziu e consumiu 79,4 milhões de toneladas de lenha. Deste total, 25,9 milhões de toneladas foram transformadas: 25,2 milhões para a produção de carvão vegetal e 712 mil para a geração de energia elétrica. O restante, 53,5 milhões de toneladas, foi distribuído entre os setores residencial, comercial, agropecuário e industrial, como pode ser visto no Gráfico 4. Em relação a 2008, houve uma queda na produção e consumo de 15 milhões de toneladas de lenha, sendo produzidas 13,7 milhões de toneladas a menos de carvão vegetal. A transformação em carvão vegetal diminuiu nove

⁹ O poder calorífico inferior médio do carvão vegetal é de 7.365 kcal/kg (30,8 MJ/kg). O teor de material volátil varia de 20 a 35%, o carbono fixo de 65 a 80% e as cinzas (material inorgânico) de 1 a 3% (JOAQUIM, 2009).

pontos percentuais, enquanto os setores residencial e industrial aumentaram quatro pontos percentuais cada e o setor agropecuário 1 ponto percentual.

(a) Produção de carvão vegetal e geração elétrica

Gráfico 3 - Evolução do uso da lenha por setor entre 1975 e 2009

Fonte: (EPE, 2010 p. 43)

Gráfico 4 - Consumo de lenha no Brasil em 2009 por setor

Fonte: (Elaboração própria a partir de EPE, 2010)

O Gráfico 5 mostra a utilização da lenha por setor industrial. Nota-se que a indústria cerâmica e a de alimentos e bebidas são as que mais utilizam a lenha.

Gráfico 5 - Consumo de lenha no Brasil em 2009 por tipo de indústria

Fonte: (Elaboração própria a partir de EPE, 2010)

A lenha pode ser de origem nativa (biomassa tradicional) ou de reflorestamento (biomassa moderna). A madeira para fins energéticos vem se tornando cada vez mais escassa no Brasil, mesmo com condições climáticas favoráveis, disponibilidade de terras agriculturáveis e boa tecnologia florestal para que seja produzida de forma sustentável (UHLIG, 2008).

De acordo com Uhlig (2008), no mundo, dificilmente o consumo de lenha para fins domésticos é causa de desmatamento, sendo que no Brasil não é diferente. A lenha para uso residencial pode ser considerada sustentável em termos energéticos uma vez que não tem origem florestal, provém de áreas de agricultura, de árvores ao longo de rodovias e ainda resíduos de serrarias ou restos de construções. O mesmo não ocorre com a demanda por combustíveis de madeira em algumas indústrias, que provocam impactos ambientais negativos evidentes, especialmente no nordeste e no caso de alguns consumidores intensivos como cerâmicas e caieiras, que usam lenha não renovável e insustentável contribuindo para o empobrecimento do solo e a desertificação da região.

A concentração de produção de lenha plantada em alguns estados está relacionada com a localização das indústrias, como por exemplo as grandes áreas florestadas em São Paulo, Espírito Santo, Bahia, Paraná e Minas Gerais devido à indústria de papel e celulose. Este setor

industrial pode ser avaliado como modelo de uso da madeira (tanto como matéria-prima como insumo energético). Usa apenas madeira de florestas plantadas, sendo que 96% da área florestada é certificada, com bons indicadores de renovabilidade e sustentabilidade. Mesmo assim, ainda pode ocorrer o transporte de lenha por mais de 500 km para atender as indústrias deste setor (UHLIG, 2008).

Em relação ao carvão vegetal produzido com a lenha, em 2009 foram consumidos 3,9 milhões tep, ou seja 1,9% do total de energia primária consumida no Brasil. No mesmo ano, o Brasil produziu 6,3 milhões de toneladas de carvão vegetal e importou 1000 toneladas. Descontadas as perdas na distribuição e armazenagem, foram consumidas 6,1 milhões de toneladas, distribuídos entre os setores residencial, comercial, agropecuário e industrial, como pode ser visto no Gráfico 6. Nota-se que o carvão vegetal é usado principalmente no setor industrial (EPE, 2010).

Gráfico 6 - Consumo de carvão vegetal no Brasil em 2009 por setor

Fonte: (Elaboração própria a partir de EPE, 2010)

O Gráfico 7 mostra a utilização do carvão vegetal por setor industrial, no qual predominam os segmentos de ferro-gusa e aço (82,5%) e ferro-ligas (14,7%) (EPE, 2010). De acordo com Colombo e Hatakayama (2007) apud Joaquim (2009), mesmo em países onde o acesso a outras fontes energéticas é intenso, o carvão vegetal tem utilidade tecnológica insubstituível, como no caso da produção de certos fundidos de ferro que necessitam de matéria-prima (ferro-gusa) isenta de enxofre. Ao contrário do que aconteceu nos países industrializados, no Brasil, o uso industrial do carvão vegetal continua sendo largamente praticado, pela sua importância no setor siderúrgico (FINCO e REZENDE, 2007)

Gráfico 7 - Consumo de carvão vegetal no Brasil em 2009 por tipo de indústria

Fonte: (Elaboração própria a partir de EPE, 2010)

A produção de madeira plantada está concentrada nas regiões próximas aos pólos industriais consumidores, como no Sul e Sudeste do Brasil, onde predominam as atividades industriais. Em 2005, com a finalidade de atender aos pólos siderúrgicos, começou a produção de madeira plantada nos estados de Mato Grosso, Maranhão e aumentou a produção no Mato Grosso do Sul. Mesmo assim, o carvão vegetal chega a ser transportando por até mil quilômetros para atender ao pólo consumidor siderúrgico (UHLIG, 2008).

O Brasil é responsável por 40% da produção mundial de carvão vegetal, sendo o maior produtor e consumidor mundial deste energético. O Estado de Minas Gerais consome 63,5% do total brasileiro (AMS, 2010b). Exerce destacada importância na economia deste estado, que possui a maior área de plantações florestais no Brasil (cerca de 1,52 milhões de hectares) representando, aproximadamente, 20% da produção florestal brasileira.

AMS (2010a) e Remade (2010) possuem estatísticas que mostram que a maior parcela de carvão vegetal produzido e consumido no país provém de florestas plantadas (52,6%) contra 47,4% de florestas nativas. O Gráfico 8 mostra a evolução do uso de madeira nativa e proveniente de florestas plantadas na produção de carvão vegetal entre os anos de 1976 e 2008 em milhares de mdc¹⁰.

¹⁰ 1 mdc = volume de carvão que cabe num cubo de 1 metro de aresta.

Gráfico 8 - Evolução da produção de carvão vegetal total e por tipo de matéria-prima: madeira nativa e provenientes de florestas plantadas

Fonte: (Elaboração própria a partir de AMS, 2010a)

De acordo com INEE (2010), Uhlig (2008), Vital; Pinto (2009) mais da metade do carvão vegetal produzido para os guseiros é oriunda de matas nativas de modo predatório. Vital; Pinto (2009) afirmam que segundo o MMA, o uso de lenha de matas nativas para a produção de carvão vegetal alcança 85%. Entretanto, a discrepância é compreensível, pois algumas instituições como o próprio IBGE apuram apenas as atividades legalmente cadastradas, não captando, assim, em suas estatísticas, o extrativismo ilegal predatório. Além do mais, a exploração de florestas nativas por extrativismo é atividade autorizada pelos órgãos ambientais, assim não impede o desmatamento ilegal que fica camuflado, nas regiões onde a demanda por madeira é alta como Norte e Centro-Oeste (UHLIG, 2008).

Também, pode-se notar que a área reflorestada no Brasil tem se mantido praticamente constante nos últimos anos, não atendendo à necessidade crescente de madeira como matéria-prima da indústria e para fins energéticos. Assim, a área a ser plantada pelo setor siderúrgico para garantir que todo ferro-gusa fabricado com carvão vegetal não seja oriundo de desmatamentos precisa mais que dobrar em relação aos níveis atuais, num período de 10 anos, com efeitos muito relevantes no caso das regiões do Pampa e do Pantanal e menos importantes nas demais. A elevação na produtividade do carvoejamento, de 250 kg/tonelada de madeira para 350 kg a 400 kg/tonelada, poderá reduzir à metade a necessidade de área

plantada. A elevação conjunta da produtividade do carvão e das florestas reduz a menos de 50% do que seria necessário aos níveis vigentes (VITAL; PINTO, 2009).

Neste ponto, é necessário destacar que além da problemática da produção de carvão vegetal a partir de lenha de floresta nativa, também ocorrem os gravíssimos problemas de uso de mão de obra escrava ou infantil, além das condições insalubres das pessoas que trabalham nas carvoarias e a poluição causada. Apenas para citar um exemplo, Varkulya Jr (2004) relata que os gases provenientes dos processos de carbonização dos resíduos de madeira das serrarias para produção de carvão vegetal usado como insumo energético das próprias serrarias em Ulianópolis (PA) concentravam-se sobre a área urbana do município, causando um grande desconforto para a população, fazendo com que o Cenbio fosse designado pelo para propor melhorias às condições ambientais do município.

Assim, percebe-se que o simples fato de aproveitar uma biomassa residual para gerar energia não é por si só uma atividade sustentável. É necessário analisar toda a cadeia logística e produtiva da utilização da biomassa.

De acordo com Nogueira e Lora (2003) os processos de conversão energética da biomassa podem ser classificados em três grupos: processos físicos, termoquímicos e biológicos. Seguindo esta classificação, serão apresentados os processos de densificação, combustão, pirólise, gaseificação e digestão anaeróbia.

3.2.1 Processos Físicos

Dependendo da aplicação final, é necessário que a biomassa sólida dos resíduos de madeira (incluindo os resíduos de poda urbana) seja convertida em outra forma energética mais homogênea ou que seja mais conveniente para o uso final desejado.

Assim, os processos físicos estão geralmente relacionados às operações de pré-processamento da biomassa proveniente das atividades florestais, agrícolas, industriais ou dos resíduos urbanos para superar a diversidade e heterogeneidade da biomassa. Em relação aos resíduos de madeira são os processos de homogeneização e densificação como: briquetagem e peletização, além de operações como moagem, produção de cavacos, secagem, entre outras. Tais processos não alteram o poder calorífico da biomassa, apenas aumentam a densidade energética (que pode se tornar comparável à do carvão mineral) e diminuem a umidade até a faixa entre 6 e 10% em base úmida. Desta forma, os processos físicos contribuem para a

diminuição dos custos relacionados ao transporte e logística, propiciam o uso de equipamentos automáticos (contra os manuais da lenha) e melhoram as propriedades de queima, pela redução do calor de vaporização e perdas, além da combustão mais completa, ainda reduzindo a emissão de material particulado (SPELTER; TOTH, 2009).

De acordo com INEE (2010); Nogueira, Lora (2003); Oliveira (2010) e Spelter; Toth (2009) os produtos dos processos físicos realizados na biomassa de madeira podem ser classificados em: (i) *wood chips* (lascas de madeira processadas de maneira que as fibras fiquem convenientemente ajustadas, usadas por exemplo, na produção de celulose ou mdf garantindo economia e uniformidade; (ii) *woodbriquet* (ou apenas briquete): produto da densificação que requer o uso de aglomerantes e temperaturas acima de 200 °C. A massa plástica obtida é moldada ficando semelhante à lenha. As dimensões usuais são comprimento até 50 cm e diâmetro de 10 cm e (iii) *woodpellet* (ou apenas pellet): madeira processada mecanicamente com dimensões usuais de 15mm de comprimento e 4 mm de diâmetro, usada pra substituir o óleo combustível em caldeiras.

Consufor (2010a) afirma que o consumo mundial atual de pellets é de cerca de 12 milhões t/ano, e estima 24 milhões de t/ano em 2018. Os principais consumidores são Europa com 80% e América do Norte com 17%. Para mostrar como o Brasil está desalinhado com o mercado de produtos densificados, a Tabela 5 apresenta algumas características dos mercados brasileiros e da América do Norte, o qual gerou cerca de 2.300 empregos diretos em 2009 (SPELTER; TOTH, 2009).

Tabela 5 - Características do mercado de produtos densificados: Brasil e América do Norte

Características	Brasil ^(a)	América do Norte ^(b)	
		Estados Unidos	Canadá
Produção (milhões de t /ano)	0,25 (2008)	1,8 (2009)	1,4 (2009)
Capacidade instalada (milhões t/ano)	0,5	2,7	1,7
Exportação	70%	20% para Europa	90% para Europa
Unidades produtoras	50	110	
Capacidade por unidade (t/ano)	1,2 a 7,5	40.500 (média)	

Fonte: Elaboração própria a partir de ^(a) Quirino (2010) ^(b) (SPELTER; TOTH, 2009).

De acordo com Quirino (2010), as principais características das unidades produtoras brasileiras são a predominância de pequenas fábricas, com uma ou duas extrusoras de pistão mecânico. As empresas estão iniciando a utilização de máquinas de extrusão por parafuso

(mais modernas). O principal resíduo compactado é proveniente da madeira, mas também existem unidades que processam casca de café, bagaço de cana, casca de algodão, coco de babaçu, coco da Bahia, casca de arroz e de misturas diversas.

Ainda segundo o mesmo autor, o Brasil tem potencial para produzir 3,1 milhões t/ano de produtos densificados de madeira, mas tem capacidade instalada de 8% de seu potencial. Um dos grandes problemas do setor é o fato de as empresas não terem planejamento, projeto ou *layout* definidos, além de falta de administração adequada (informação verbal)¹¹. Também, há irregularidade no fluxo de funcionamento e a produção de tamanhos variados de produtos sem especificações definidas, por falta de regulamentação do setor.

Uma variação do processo de peletização é a torrefação, processo mais lento (30 a 90 minutos) que consiste no tratamento termoquímico da biomassa a temperaturas mais altas (de 200 a 300 °C) na ausência de oxigênio. Ocorrem mudanças nas propriedades da biomassa: a maioria da hemicelulose volatiliza e a residual se torna hidrofóbica, um importante benefício do ponto de vista de transporte, além de redução da fibra da madeira natural. O processo volatiliza os orgânicos da madeira, ocorrendo a perda de parte da energia, mas aumentando a densidade energética da massa remanescente. Contudo, a maioria da lignina é conservada, evitando o uso de aditivos aglomerantes. A primeira planta de torrefação para 150.000 toneladas na Georgia custou US\$12 milhões e iniciou suas operações em 2009 (SPELTER; TOTH, 2009).

Alguns pontos importantes na indústria da densificação da madeira é garantir a proximidade das fontes produtoras de resíduos a fim de otimizar os custos com a logística (porque a baixa densidade e os altos teores de umidade dos resíduos tornam o transporte proibitivo a longas distâncias). Também, é necessário fazer balanço de energia para verificar se o gasto energético com as operações de densificação compensa as melhorias do produto final. INEE (2010) afirma que tais balanços energéticos são positivos.

3.2.2 Processos Termoquímicos

A energia química disponível nos resíduos de poda urbana (ou qualquer dendrocombustível) requer que reações sejam realizadas a fim da liberação desta energia para

¹¹ Informação recebida de QUIRINO, W.F. durante apresentação da palestra Compactação de Biomassa no Seminário MadEn2. Seminário Sobre Madeira Energética. São Paulo, 25 nov 2010.

alguma finalidade, como cocção de alimentos, aquecimento de ambientes ou de água, geração de vapor e de energia elétrica.

Os processos termoquímicos envolvem calor e reações químicas para o aproveitamento energético dos combustíveis de madeira. Serão apresentados os processos de combustão direta, pirólise e gaseificação.

3.2.2.1 Combustão

Nogueira, Lora (2003, p. 50) afirmam que “a queima direta, ou a combustão é a tecnologia de conversão mais antiga e mais difundida comercialmente [...]”. Proporciona a transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações de seus elementos constituintes com o oxigênio fornecido, na maioria das vezes proveniente do ar.

A madeira apresenta em sua composição elementar carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e quantidade variável de água. Assim os produtos da combustão são: dióxido de carbono e água provenientes da combustão completa do carbono e hidrogênio do combustível, nitrogênio e oxigênio oriundos do ar em excesso usado na combustão e não consumidos, monóxido de carbono e fuligem (no caso de combustão incompleta) e as cinzas (fração mineral não combustível da biomassa) (NOGUEIRA; LORA, 2003).

A queima da biomassa, em particular da lenha *in natura* é a tecnologia dendroenergética mais disseminada e pode ser realizada nos mais variados equipamentos como fogões, fornos e caldeiras e para diversas finalidades como cocção doméstica, ou no setor de serviços como restaurantes e pizzarias, na produção de vapor para processos industriais, higienização, aquecimento ou produção de eletricidade por meio de turbinas. Embora prático e às vezes conveniente, o processo de combustão é normalmente muito ineficiente.

A tecnologia usada com mais frequência na conversão do calor obtido a partir da queima da biomassa em energia mecânica ou elétrica consiste nos ciclos termodinâmicos de potência, conhecidos como ciclo a vapor, cujo precursor é o Ciclo de Carnot (SONNTAG; BORGNAKKE; VAN WYLEN, 2003).

Na prática, os ciclos a vapor utilizam quatro equipamentos básicos, caldeira, turbina a vapor, condensador e bomba de alimentação da caldeira. Conforme as propriedades, quantidade e qualidade da biomassa que será queimada na caldeira, das necessidades

energéticas ou de processo e o capital disponível para a implantação de um ciclo a vapor, outros equipamentos podem ser adicionados ao ciclo, ou rearranjados de outras maneiras, designando novas configurações desta tecnologia, como o ciclo com reaquecimento ou ciclo o regenerativo. O Ciclo Rankine é o mais simples tipo de ciclo a vapor, do qual derivam as demais configurações.

3.2.2.1.1 Usinas Termoelétricas

Uma parte significativa da energia elétrica brasileira é atualmente gerada em usinas termoelétricas (UTES). De acordo com ANEEL (2010), 23% da capacidade instalada da matriz elétrica brasileira provém de UTES, perdendo apenas para a hidroeletricidade, responsável por 67,4% dos 117,9 GW totais. O gás natural é o principal combustível das UTES, responsável por 45% da capacidade instalada, seguido pela biomassa com 26%.

Com 2.256 empreendimentos geradores, o Brasil utiliza 93% da capacidade instalada de geração de energia elétrica. É importante salientar que o fator de operação das UTES é de 100% (ANEEL 2010). O Gráfico 9 mostra a porcentagem da potência fiscalizada¹² por tipo de empreendimento.

No caso das UTES, a biomassa é responsável por 7 GW. Os resíduos de madeira são os combustíveis de 35 empreendimentos com 302,6 MW de potência total fiscalizada. Detalhes como potência, destino da energia, proprietário e localização são mostrados no Apêndice C. Apenas 81,3 MW estão instalados no estado de São Paulo (e todos no interior do estado). Desta forma nota-se como é importante a instalação de UTES no município de São Paulo ou na sua região metropolitana, para proporcionar a geração descentralizada com combustíveis menos poluentes (em comparação com os combustíveis fósseis geralmente BPF ou gás natural).

¹² A potência fiscalizada é a considerada a partir da operação comercial da primeira unidade geradora (sendo às vezes menor que a potência outorgada).

Legenda:

CGH: Central Geradora Hidrelétrica

EOL: Central Geradora Eolielétrica

PCH: Pequena Central Hidrelétrica

SOL: Central Geradora Solar Fotovoltaica

UHE: Usina Hidrelétrica de Energia

UTE: Usina Termelétrica de Energia

UTN: Usina Termonuclear

Gráfico 9 - Distribuição da geração de energia elétrica no Brasil (%) por tipo de empreendimento

Fonte: (Elaboração própria a partir de ANEEL, 2010)

No período de 1998 a 2010, 458 empreendimentos foram outorgados (e ainda não iniciaram sua construção) com potência total de 20,7 GW. Destes, 169 são UTEs correspondendo a 37% dos empreendimentos e 67% da potência outorgada. Dos 123 empreendimentos em construção com potência outorgada total de 16,9 GW, quarenta e cinco são UTEs, correspondendo a 29,2% da potência outorgada ou 4,9 GW (ANEEL, 2010).

3.2.2.1.2 Usinas de Tratamento Térmico de Resíduos

O Brasil, diferentemente do resto do mundo, ainda não possui nenhuma usina para tratamento térmico de resíduos (UTTR) também chamada de Usina de Recuperação de Energia (URE), ou do inglês *Waste to Energy* (WTE), que no passado eram conhecidas como usinas de incineração.

Nestes processos térmicos, a combustão é realizada com excesso de oxigênio ou ar a altíssimas temperaturas em câmaras de combustão, sendo as mais usadas os sistemas com grelhas. O calor dos gases de exaustão pode ser utilizado para geração de energia térmica por

meio da geração de vapor em caldeira de recuperação ou energia elétrica, quando o vapor produzido na caldeira é expandido em turbina a vapor. Antes de ser liberado para a atmosfera, o gás de exaustão passa por um sistema de limpeza visando a atingir os padrões de emissão estabelecidos na legislação (capítulo 5).

O objetivo maior destes processos é tratar os resíduos sólidos urbanos, isto é, transformá-los em rejeitos para que possam ser depositados nos aterros sanitários. A diminuição do volume costuma ser da ordem de 90%.

Nos sistemas mais antigos, o resfriamento dos gases para lançamento na atmosfera era feito por meio de torres de resfriamento, usando grande quantidade de água e desperdiçando o poder calorífico de uma mistura gasosa a alta temperatura. A decisão de instalação para a recuperação de calor é tomada com base na análise do investimento inicial e do retorno esperado com a venda da energia. Geralmente, a partir de sistemas de médio porte esta viabilidade é alcançada (LIMA, 1994).

As usinas de incineração são mundialmente aceitas, Kohler (2010) menciona a existência de trezentos e noventa plantas na Europa distribuídas conforme a Tabela 6. O Japão trata 40 milhões de toneladas, os Estados Unidos tem oitenta e nove usinas de incineração, a China cinquenta, sendo que cento e vinte estão sendo projetadas.

Tabela 6 - Distribuição das usinas de recuperação de energia em vários países da Europa em 2006

País	Quantidade de UREs	Lixo tratado (Milhões de toneladas por ano)
Alemanha	67	20,0
Espanha	10	2,2
França	129	13,5
Itália	51	4,0
Portugal	3	1,0
Reino Unido	20	4,4

Fonte: (Cecconi, 2010)

De acordo com Guimarães (2010), a gestão de resíduos sólidos no Brasil precisa adotar ações sobre o volume de resíduos coletado, invertendo as suas prioridades, sendo necessário reduzir, depois reciclar os resíduos orgânicos e os inorgânicos, aproveitar o potencial energético do que sobrou, e só então usar o aterro sanitário para a disposição final do rejeito. Na Europa, esta cultura de tratamento de lixo já está em plena atividade. De acordo com Kohler (2010) os RSU na Europa em 2008 tiveram entre reciclagem, aterramento e incineração a distribuição apresentada no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Tratamento dos RSU na Europa em 2008

Fonte: (Kohler, 2010)

Mas, no Brasil, há ainda forte rejeição da sociedade civil ao uso de incineradores, por receio das características de toxicidade dos gases de exaustão. Por conta disto, e com a crescente problemática de aterros adequados para a disposição dos RSU nas grandes regiões metropolitanas de São Paulo, em dezembro de 2004, o estado de São Paulo, por meio de sua Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA/SP) firmou acordo de cooperação técnica com o Estado Livre da Baviera (Alemanha) por meio de sua Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Saúde Pública e Defesa do Consumidor, para avaliar alternativas para o gerenciamento de resíduos sólidos municipais, principalmente em regiões metropolitanas (SÃO PAULO, 2010a).

Pelo Brasil participaram técnicos da SMA/SP, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), da Secretaria Municipal de Serviços e Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente do município de São Paulo, além de representantes da sociedade civil, como membros do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) e de Organizações Não Governamentais (ONGs). Pela Alemanha, participaram técnicos da Landesamt für Umweltschutz (LfU), agência de proteção ambiental bávara.

No desenvolvimento desta cooperação foram realizadas várias visitas técnicas às unidades de gerenciamento de RSU integradas na Baviera. Assim, das ferramentas avaliadas, a alternativa mais interessante e de menor relação custo-efetividade é a minimização da quantidade de resíduos sólidos municipais a ser tratada. Como esta alternativa nunca atingirá efetividade de 100%, sua implementação ocorre em conjunto com outras opções como a reciclagem, aterros e UREs (SÃO PAULO, 2010a).

Os parceiros alemães da Cooperação Técnica Baviera-São Paulo apresentaram, entre outros os seguintes estudos:

- “Custo total de titularidade: comparação entre incineração e aterro” (2006): compara os custos de uma URE e de um aterro, ambos dimensionados para receber 500.000 t/ano de resíduos, desde a fase de projeto, implantação, operação, até o encerramento das atividades após 20 anos (sendo que no caso dos aterros inclui o monitoramento após o seu fechamento), baseados na caracterização dos RSU do município de São Sebastião (SP). Como resultado, evidenciou as vantagens econômicas da incineração, com alto potencial de aproveitamento energético e segurança ambiental.
- “Critérios para localização de uma usina de lixo em SP”: considera, no âmbito do licenciamento ambiental do empreendimento, além da viabilidade ambiental e técnica, a viabilidade econômica. Como resultado, ressalta que a URE deve ser instalada próxima aos futuros consumidores de seus insumos energéticos (energia elétrica e vapor), sob o risco de se tornar inviável economicamente. Leva em conta outro fator importante, o fato do Poder Calorífico Inferior (PCI) do resíduo sólido domiciliar brasileiro ser menor que os da Baviera, devido ao maior teor de umidade.

Estes estudos proporcionaram avaliar as diferenças existentes no gerenciamento dos RSU do estado de São Paulo e do estado da Baviera, ao mesmo tempo em que permitiram verificar que é plenamente possível utilizar o sistema adotado na Baviera, principalmente nas regiões metropolitanas do Estado de São Paulo. Detalhes do gerenciamento integrado de resíduos sólidos na Baviera são mostrados no Apêndice D (assim como de Portugal e da Itália).

Segundo Kohler (2010); König (2010) e SÃO PAULO (2010a) as vantagens das UTTR em relação à disposição direta em aterros são:

- Redução do volume do lixo (de 85 a 95%) e redução da massa de 60 a 70% ;
- Minimização das áreas necessárias para aterros;
- Transformação da energia produzida em insumos energéticos (energia elétrica, térmica, frio ou vapor) a serem comercializados;
- Recuperação de materiais valiosos tais como metais ferrosos e não ferrosos;
- Uso de tecnologias seguras e de confiança; altamente disponíveis;

- Ausência de emissões descontroladas e perigo de contaminação dos lençóis freáticos, bem como destruição de compostos orgânicos perigosos;
- Previsibilidade de custos previsíveis, sem deixar responsabilidades para gerações futuras;
- Garantia de segurança no fornecimento de energia;
- Ocupação de áreas menores que as necessárias para a implantação de aterros sanitários, para uma mesma quantidade de resíduos a serem tratados e/ou dispostos;
- Possibilidade de implantação em áreas urbanizadas, o que diminuiria a necessidade de transportar os resíduos por grandes distâncias, com redução dos custos e emissão de poluentes no transporte;
- Diminuição da pressão de ocupação das poucas áreas ainda livres, frequentemente com cobertura vegetal, por novos empreendimentos de deposição de resíduos, os quais afetam não apenas a área utilizada pelo aterro, mas também todo o seu entorno imediato.

Para diminuir os custos de operação, König (2010) aconselha escolher tecnologias adequadas, treinar a equipe de operação para máximo desempenho possível, dividir os serviços e insumos produzidos entre o empreendedor e o poder público, além de abandonar a geração de energia elétrica e vender a energia preferencialmente como vapor.

De acordo com Scholz (2010) os principais resultados desta cooperação em 2009 são os estudos que a Secretaria de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo (SSE) e a Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE) vêm desenvolvendo sobre as novas tecnologias para o tratamento e destinação final de RSU nas regiões metropolitanas do estado de São Paulo e em termos de legislação:

- Decreto nº 5.465 de Agosto de 2009 encorajando tratamentos para reduzir lixo nos aterros.
- Lei nº 13.798 de Novembro de 2009 que instituiu a política estadual de mudanças climáticas aumentando o uso de energias renováveis (incluindo o uso de energia proveniente do lixo).
- Resolução SMA 79/2009 de 26 de Novembro de 2009 que estabelece diretrizes e condições para a operação e o licenciamento da atividade de tratamento térmico de resíduos no estado de São Paulo (que será detalhado no capítulo 6).

- Decreto Estadual nº 55.947 de Junho de 2010 que visa à redução de emissão de gases de efeito estufa.

Guimarães (2010) e Bolognesi (2010) afirmam que a SSE e a EMAE estudam uma central de tratamento de resíduos com a configuração da Figura 3 e cujas principais características estão apresentadas na Tabela 7.

Figura 3 - Central de Tratamento de Resíduos em estudo pela SSE e EMAE.

Fonte: (Bolognesi, 2010)

Tabela 7 - Dados básicos da UTTR

Característica	Valor
Capacidade de processamento de RSU ⁽¹⁾	1.200 t/dia
Poder calorífico inferior do RSU	1.900 kcal / kg
Redução de volume do RSU	90%
Potência elétrica instalada	26 MW
Potência média disponível para venda	18,3 MW
Área total da Central de Tratamento	40.000 m ²
Padrão de emissões atmosféricas	Resolução SMA 079 / 2009
Custo total ⁽²⁾	R\$ 324 milhões

⁽¹⁾ Modulação com duas unidades de 600 t/dia

⁽²⁾ Custo do terreno não está incluso

Fonte: (Bolognesi, 2010)

De acordo com Bolognesi (2010), a EMAE já concluiu os estudos de caracterização técnico-operacional e de orçamentação e de modelagem de negócio, bem como a elaboração

de plano regional integrado de saneamento básico na Unidade de Recursos Hídricos da Baixada Santista (UGRHI7). Em andamento estão a caracterização de RSU da Baixada Santista (com a colaboração das prefeituras envolvidas) e o estudo de viabilidade técnico-econômica. Em breve, a EMAE contratará o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), além de estudos completos para outras regiões e municípios.

3.2.2.1.3 Exemplos de Utilização de Aproveitamento Energético de Resíduos de Poda Urbana por Meio de Combustão

Barroso (2007) verificou que as olarias do Distrito Federal usavam resíduos de poda urbana como lenha nos fornos de fabricação de tijolos maciços, em substituição ao eucalipto, diminuindo assim os custos de produção a fim de assegurar a sobrevivência no mercado, uma vez que no período de 2000 a 2007, dez estabelecimentos fecharam. Nas espécies estudadas (Siriguela, Mangueira, Jamelão, Pinus, Sucupira branca, Dracena/Pau-d'água, Abacateiro e outras) verificou poder calorífico líquido¹³ médio de 2.300 kcal/kg e umidade média de 38%. Sendo que a variação foi de teor de umidade entre 49,68% e 18,97%; poder calorífico inferior entre 4.038,97 a 4.123,64 kcal/kg e poder calorífico líquido entre 1.734,12 a 3.227,48 kcal/kg, respectivamente para as espécies Mangueira e Dracena / Pau-d'água.

Meira (2010) informa que 31% dos resíduos de poda do município de Piracicaba (estado de São Paulo) têm potencial para serem usados como lenha para olarias, pizzarias, padarias e outros locais, tendo considerado aptos à combustão direta, os resíduos com diâmetro mínimo de 8 cm.

Por meio de um estudo realizado na cidade de Pato Branco (Paraná) que tem área urbana de 71,23 km², Maccarini (2007) constatou que as 6.000 toneladas anuais de resíduos de poda urbana das mais de 10.000 árvores municipais seriam suficientes para suprir a demanda energética anual de uma caldeira aquatubular de leito fluidizado de uma fábrica da região que produz 60.000 toneladas anuais de ração. O estudo pesquisou as duas espécies de árvores mais representativas na cidade, os ligustros (*Ligustrum lucidum*) com 70% e a aroeira periquita (*Schinus molle*) com 20%, e levou em conta que os resíduos de poda possuem, entre galhos e folhas, 60% de umidade.

¹³ Poder calorífico líquido é determinado com a amostra no seu estado atual de umidade, ou seja, desconta-se do PCI a quantidade de calor necessária para evaporar toda a água presente: $PCL = PCI (1-U) - (600 \times U)$, sendo PCI = poder calorífico inferior a 0% de umidade (kcal/kg) e U = teor de umidade em base úmida (%)

Barroso (2007) recomenda que os resíduos de poda usados como lenha, sejam previamente secos, a fim de que não ocorra perda de energia gerada na combustão para a secagem do combustível. Desta forma, haveria redução da quantidade de lenha necessária para queima, minimizando os custos com o combustível sólido.

Em Zolling, na Alemanha, há um complexo de usinas da E.ON Kraftwerk GmbH para geração de energia elétrica a carvão e de aproveitamento energético de resíduos de biomassa. São duas plantas: uma termelétrica a carvão mineral (e lodo de tratamento de esgoto) com capacidade de 449 MW e uma usina geradora de energia a partir da incineração de resíduos de madeira em geral (poda de árvores, serragem, móveis velhos, etc.) com capacidade de 20 MW. A usina recebe cerca de 700 toneladas por dia já trituradas, provenientes de cooperativas e plantas de reciclagem de Munique. Os resíduos são transportados em caminhões fechados e ficam armazenados em silos. Os gases de exaustão desta usina também são tratados para a retirada de dioxinas e mercúrio.

3.2.2.2 Pirólise

Existem variadas tecnologias de pirólise para biomassa nos estados sólido, líquido e gasoso. Em relação ao aproveitamento de resíduos de poda urbana, serão apresentadas as principais características da pirólise para biomassa sólida.

A pirólise lenta, também conhecida como destilação seca da madeira, carbonização ou carvoejamento é um dos processos mais simples e antigos de que se tem conhecimento para conversão de um combustível, normalmente lenha em outro de melhor qualidade e conteúdo energético, o carvão vegetal (ANEEL, 2005; BRITO, 1990).

O processo consiste em aquecer a madeira (normalmente entre 300°C e 500°C), na quase ausência de ar, até que o material volátil (oxigênio e hidrogênio) seja retirado, havendo a concentração de carbono, diminuição do volume, escurecimento da madeira, abertura e fechamento de poros, fissuração, diminuição da densidade, entre outros. O principal produto final (carvão) tem uma densidade energética duas vezes maior que aquela do material de origem e queima em temperaturas muito mais elevadas. Além de gás combustível, a pirólise produz alcatrão e ácido pirolenhoso (ANEEL, 2005; BRITO, 1990).

Segundo Brito (1990) a relação entre a quantidade de lenha e a de carvão vegetal produzido varia, de acordo com as características do processo e o teor de umidade do material

de origem. Em geral, são necessárias de quatro a dez toneladas de lenha para a produção de uma tonelada de carvão. Se o material volátil não for coletado, o custo relativo do carvão produzido considerando o conteúdo energético fica em torno de dois terços daquele do material de origem.

Nos processos mais sofisticados, há controle da temperatura e coleta do material volátil, visando melhorar a qualidade do combustível gerado e o aproveitamento dos resíduos. Nesse caso, a proporção de carvão pode chegar a 30% do material de origem. Embora necessite de tratamento prévio (redução da acidez), o líquido produzido (bio-óleo) pode ser usado como óleo combustível.

Os sistemas de produção de carvão vegetal podem ser classificados em relação à origem do calor para o processo, segundo Brito (1990), de duas maneiras:

- a) Sistemas com fonte interna de calor ou combustão parcial: o calor é fornecido mediante a combustão de cerca de 10 a 20% em peso da carga de madeira destinada à carbonização. São processos na sua maioria artesanais e os mais difundidos nos países em desenvolvimento e no Brasil. Os tipos mais usados são os fornos meia-laranja ou rabo-quente.
- b) Sistemas com fonte externa de calor: que pode ser aquecimento elétrico ou queima de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos. Teoricamente, têm rendimento maior que os sistemas com fonte interna de calor. Um exemplo são os fornos cilíndricos verticais, aptos a transformar em carvão vegetal qualquer tipo de material lenhoso (galhos, resíduos de colheita florestal, tocos, lenha em toras, resíduos de desdobro mecânico de serrarias, restos de poda, entre outros), com diâmetro superior a 6 cm e comprimento superior a 20 cm.

Como uma forma de incentivar a profissionalização e a racionalização do setor de produção de carvão vegetal por processos mais eficientes do ponto de vista ambiental, Colombo, Pimenta, Hatakeyama (2006) pesquisaram o uso de fornos cilíndricos verticais, que permitem a utilização completa dos produtos úteis derivados do processo de carbonização, pela requeima dos gases, reduzindo substancialmente os fumos e a poluição atmosférica pela queima completa dos pirolenhosos, alcatrão não solúvel e a parte combustível dos gases não condensáveis. O adicional de calor gerado é suficiente para a secagem da lenha (até a faixa de 4% a 6%).

Como resultado, verificaram que em comparação aos tradicionais fornos rabo-quente, os fornos cilíndricos verticais apresentam economia de 25% em matéria-prima, 13% de redução do custo operacional, 151% de aumento de produtividade, 40% no rendimento

gravimétrico (na faixa de 35% - 40%, em contraposição aos 25% - 30% normalmente obtidos no processo tradicional). O retorno do investimento medido em *payback* simples foi de menos de um ano e meio.

Assim, a utilização de sistemas mais eficientes de pirólise reduz a necessidade de uso de madeira proveniente de árvores, sejam nativas ou plantadas para esta finalidade.

3.2.2.2.1 Exemplos de Utilização de Resíduos de Poda Urbana na Produção de Carvão Vegetal

Vale; Sarmento; Almeida (2005) estudaram as doze espécies mais comuns na arborização do plano-piloto do Distrito Federal entre as 143 espécies encontradas. As espécies estudadas, com exceção de *Caesalpineia leiostachya*, possuem madeiras medianamente macias. Consideraram que o melhor uso da madeira para produção de energia na forma de calor está ligada a maiores massas específicas, maiores teores de carbono fixo e menores teores de materiais voláteis. Assim, destacaram-se as seguintes espécies: *Caesalpineia leiostachya*; *Pterogyne nitens*, *Peltophorum dubium*, *Mangifera indica*, *Syzygium jambolana* e *Ligustrum lucidum* que apresentam características favoráveis tanto para o uso como lenha, quanto para a produção de carvão vegetal.

Os autores do estudo não encontraram relação de causa e efeito entre a massa específica básica e a produção de carvão vegetal, mas, por outro lado, relataram que há relação positiva entre essa variável e o teor de carbono fixo, mas os baixos valores dos coeficientes de determinação para os rendimentos da carbonização, incluindo a não significância para o rendimento gravimétrico, indicam que outros fatores além da massa específica básica da madeira têm influência nesses rendimentos. Por fim, concluem que as espécies com maior massa específica são as mais indicadas para o uso de resíduos de poda urbana para aproveitamento energético, pois possuem como característica favorável ter maior quantidade de massa por unidade de volume. Recomendam que as demais espécies sejam transformadas em briquetes, aumentando assim a quantidade de calor por unidade volumétrica ou sejam destinados a fins não energéticos como produção de composto orgânico (compostagem) ou para a confecção de pequenos objetos (cinzeiros, cabos de ferramentas, enfeites, porta-jóias).

3.2.2.3 Gaseificação

Higman e van der Burgt (2003) consideram gaseificação como a operação que converte qualquer hidrocarboneto sólido combustível em produto gasoso (chamado de gás pobre, gás de síntese, *producer gas* ou *syngas* – abreviatura de *synthesis gas*) com poder calorífico passível de uso. Neste processo não há interesse na produção de calor, que é o objetivo principal da combustão cujo gás residual produzido não é combustível, pois não possui poder calorífico adequado para tal.

Segundo Santos (2006), a gaseificação de combustíveis sólidos é um processo antigo usado para produzir combustíveis gasosos com melhores características de transporte e eficiência de combustão do que os combustíveis sólidos originais. Na gaseificação da biomassa, o gás combustível produzido com poder calorífico da ordem de 5MJ/Nm^3 é obtido através de oxidação parcial da biomassa envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão) a temperaturas elevadas por meio de complexas reações ainda não bem conhecidas em sua totalidade (NOGUEIRA; LORA, 2003).

O gás proveniente da gaseificação é constituído de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio e dependendo das condições de operação (tempo de retenção e temperatura), tipo de gaseificador, introdução ou não de vapor de água com o comburente, matéria orgânica utilizada, entre outros, pode ainda conter metano, hidrocarbonetos leves, nitrogênio e vapor de água em diferentes proporções (LORA, 2008).

De forma geral, o gás produzido a partir da gaseificação da biomassa tem muitas aplicações práticas, como a queima em motores de combustão interna e turbinas a gás para a geração de energia mecânica e elétrica; a geração direta de calor; uso como matéria-prima na obtenção de combustíveis líquidos, tais como diesel e gasolina, metanol, etanol, amônia, hidrogênio, e outros produtos químicos, através de processos de síntese química catalítica.

Nogueira, Lora (2003) apontam as seguintes vantagens da gaseificação da biomassa em relação à combustão: (i) facilidade de conversão de fornos e câmaras de combustão de geradores de vapor (caldeiras) e motores de combustão interna projetados para combustíveis fósseis (líquidos e gasosos) utilizarem o gás proveniente da gaseificação, pois não requerem grandes modificações e não há significativa redução na eficiência (ii) possibilidade de geração

de eletricidade em pequena escala sem a necessidade de um ciclo a vapor, pois o gás é alimentado diretamente no motor de combustão interna, turbina a gás ou célula a combustível.

Lora et al. (2008) afirmam que apesar de a gaseificação apresentar vantagens significativas sobre a queima direta da biomassa ou de combustíveis fósseis, algumas desvantagens técnicas devem ser levadas em consideração em relação a essa tecnologia: a gaseificação é um processo tecnicamente mais complicado de realizar do que a queima direta da biomassa, devendo-se ter especial atenção com a limpeza dos gases, que de acordo com Santos (2006) contêm alcatrões e material particulado. Hamelinck et al (2004) recomendam que a biomassa passe por processos de pré-tratamento como secagem, diminuição do tamanho ou até peletização antes da gaseificação, o que apesar de implicar em consumo energético extra, aumenta a eficiência do processo de gaseificação.

De acordo com DOE (2010); O'Brien; Shadle (2008), a gaseificação de combustíveis fósseis por meio de ciclo combinado de gaseificação integrado - *Integrated Gasifier Systems Combined Cycle* (IGCC) está plenamente desenvolvida e possui plantas em vinte e oito países do mundo. Em 2010, eram 135 plantas comerciais em operação (principalmente com carvão mineral), 403 gaseificadores com capacidade instalada de 70.444 MWt e produção de mais de 430 milhões de Nm³/dia de gás com a seguinte utilização: 45% para síntese de produtos químicos, 38% para combustíveis líquidos (por meio de processos Fischer-Tropsch), 11% para geração de energia e 6% para combustíveis gasosos.

Para biomassa, apenas sistemas de gaseificação de pequeno porte estão plenamente em uso, principalmente para geração de energia elétrica em comunidades isoladas e são geralmente do tipo de leito fixo. Santos (2006) detalha oito principais projetos que usam biomassa em ciclos combinados com gaseificadores e turbinas a gás, denominados sistemas *Biomass Integrated Gasifier Gas Turbine* (BIGGT). Destacam-se as plantas de Varmano e Vermont, respectivamente com capacidade instalada de 18MW e 50MW, sendo que o gaseificador de Varmano acumulou 8.500 horas de operação e o sistema integrado 3.500 horas, testando diversos tipos de madeira, palha de trigo, e material derivado de resíduos urbanos. De acordo com Coelho (1992) foi a primeira planta de gaseificação de biomassa do mundo que operou inteiramente integrada, permitindo a geração de energia elétrica com igual ou maior eficiência do que as comparadas com os combustíveis fósseis, com custo de kWh competitivo, incluindo capacidades de dezenas de MW.

Em 2010, eram nove gaseificadores BIGGT em operação em nove plantas com capacidade total instalada de 373 MWt, sendo que há previsão da instalação de mais dois gaseificadores até 2016, aumentando a capacidade instalada para 402 MWt. Assim, os

gaseificadores com biomassa representam 2% do total de gaseificadores de grande porte em operação (com 1% da produção de gás) e em 2016, com as plantas que já estão planejadas representarão 2,2% dos gaseificadores instalados, mas apenas 0,3% da capacidade instalada de geração de gás por meio de gaseificação (DOE, 2010).

Nota-se uma diferença marcante entre a capacidade instalada de gaseificação de combustíveis fósseis e biomassa. Assim, ainda com a aparente viabilidade técnica e econômica desta tecnologia, é ainda uma promessa para os setores com ampla disponibilidade de biomassa a baixo custo, como o das usinas de açúcar e álcool, o madeireiro e de papel e celulose (NOGUEIRA; LORA, 2003), bem como o de resíduos sólidos urbanos.

Na literatura, não foi identificada a utilização de resíduos de poda urbana em processos de gaseificação de pequeno, médio ou grande porte.

3.2.3 Processos Biológicos

Dentre os processos de conversão biológicos, os mais utilizados são os de fermentação alcoólica e digestão anaeróbia, conduzidos geralmente a partir de biomassa com alto teor de umidade e temperaturas próximas da ambiente. Apesar de Nogueira e Lora (2003) afirmarem que há pouco interesse deste tipo de processo para os recursos dendroenergéticos (os biocombustíveis da madeira), este capítulo apresenta algumas tecnologias de digestão anaeróbia que são muito usadas na Europa para tratamento de RSU e seus resíduos orgânicos, categoria em que se incluem os resíduos de poda urbana, tema desta tese.

Também há tecnologias baseadas na hidrólise enzimática, mas ainda estão em desenvolvimento. É o caso da BEM (Biomassa - Energia - Materiais), tecnologia totalmente desenvolvida no Brasil a partir da década de 1980 e patenteada em 1996. Consiste na hidrólise das biomassas presentes nos resíduos sólidos em duas *commodities*: (i) a celulignina catalítica utilizada como combustível sólido, com poder calorífico de cerca de 4.500 kcal/kg que pode ser usado para a produção de energia elétrica (SABIÁ et al. 2005), ração animal e madeira sintética e (ii) o pré-hidrolisado (solução de açúcares) usado em produtos químicos como furfural, álcool e xilitol. O aproveitamento energético reside no fato de que a produção da celulignina requer 6,3% da energia contida neste combustível, valor que é cinco vezes menor do que a energia consumida nos reatores clássicos utilizados em processos de hidrólise ácida de biomassa (ROSA, 2003).

3.2.3.1 Digestão Anaeróbia

Em meados dos anos 1980, surgiu o interesse pela aplicação de processos de digestão anaeróbia para o processamento da fração orgânica dos RSU em substituição à digestão aeróbia (compostagem clássica), pelas seguintes razões:

- oportunidade de obtenção de biogás, rico em metano e fonte energética;
- obtenção de material digerido (composto) de alta qualidade, com ausência de patogênicos e baixo teor salino;
- possibilidade de tratar substratos com relativamente alto teor de umidade;
- eliminação do uso de água para a degradação da matéria orgânica;
- diminuição das emissões de odor (processo de degradação confinado nos reatores), sendo que a amônia desprendida durante e após compostagem aeróbia do material digerido pode facilmente ser controlada;
- redução do espaço requerido;
- baixo custo de capital e despesas operacionais;
- confiabilidade operacional elevada.

Tchobanoglous (1993) relata que na década de 1990 onze tecnologias de digestão anaeróbia estavam sendo estudadas. A maioria delas na Europa, sendo apenas duas nos Estados Unidos, algumas em fase experimental e outras em estágio final de desenvolvimento. As tecnologias de digestão anaeróbia podem ser diferenciadas principalmente em termos de cinco parâmetros operacionais: temperatura (mesofílica ou termofílica); teor de umidade (úmida ou seca); complexidade (uma ou duas fases); digestão simples ou codigestão e tipo de substrato (RSU ou *biowaste*).

Baere; Mattheeuws (2010) informam que na Europa, as temperaturas usuais de operação são mesofílica na faixa de 35 °C a 40 °C e termofílica entre 50 °C e 55 °C. As temperaturas mesofílicas são preferidas (como pode ser visto na Tabela 8) por serem consideradas mais estáveis e exigirem menor consumo energético. O teor de umidade da matéria orgânica a ser tratada influencia no pré e pós tratamentos dos substratos. A digestão anaeróbia seca considera a matéria orgânica com mais de 15% de sólidos totais e representa 60% da capacidade instalada na Europa.

Tabela 8 - Evolução das características das plantas de digestão anaeróbia da Europa

Características	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2010
Quantidade de plantas instaladas	15	44	52	73
Plantas / ano	3	8,8	10,4	14,6
Capacidade total instalada (t)	194.000	1.117.500	2.077.950	2.246.450
Capacidade instalada / ano (t/ano)	38.800	223.500	415.590	449.290
Capacidade média das plantas (t)	12.933	25.398	39.961	330.773
Mesofílicas / Termofílicas (%)	64 / 36	64 / 36	80 / 20	63 / 27

Fonte: (Adaptado de BAERE; MATTHEEUWS, 2010)

Alguns fabricantes de equipamentos de digestão anaeróbia desenvolveram suas tecnologias usando mais de uma fase de digestão, a fim de maximizar a produção de biogás, mas esta vantagem não tem se mostrado compensatória em relação ao maior custo de implantação. Os processos secos têm sido desenvolvidos para uma única fase. Assim, na Europa, apenas 8% dos processos em operação até 2010 são duas fases. Muitos biodigestores de fazendas estão fazendo codigestão dos resíduos agrícolas com esterco, mas nos processos de digestão anaeróbia de RSU, a codigestão com algum resíduo orgânico como os provenientes de empresas fabricantes de alimentos ou outras que estejam situadas nas proximidades representou apenas 8% do total em 2010.

Desta forma, como pode ser observado na Tabela 8, nos anos 1990, como a tecnologia de digestão anaeróbia ainda não estava totalmente madura, plantas pequenas foram construídas para tratar apenas resíduos orgânicos. Já nos anos 2000, plantas maiores foram construídas porque tratavam RSU. A partir de 2005, a maioria das plantas foram instaladas novamente apenas para tratar resíduos orgânicos, e a introdução da digestão de fluxo parcial (*partial stream digestion*), reduziu o tamanho médio das plantas de digestão anaeróbia. Os resíduos mais úmidos são encaminhados para a digestão anaeróbia e os mais secos a *bypassam*, são misturados com os substratos que já sofreram a digestão anaeróbia e seguem juntos para a etapa de maturação (aeróbica). Assim, o tamanho (e a capacidade) dos biodigestores requerida para a digestão anaeróbia fica menor. No entanto, países que não têm eficiente segregação dos RSU na fonte têm optado por grandes unidades de digestão anaeróbia (BAERE; MATTHEEUWS, 2010).

Baere; Mattheeuws (2010) informam que no final de 2010, a capacidade instalada na Europa para tratar RSU e biolixo era de cerca de 6 milhões de toneladas por ano divididas em mais de duzentas plantas e 17 países europeus. Também esperam que muitas das plantas

convencionais de compostagem (degradação aeróbia) sejam substituídas por plantas de digestão anaeróbia.

A seguir são descritas duas destas tecnologias, plenamente desenvolvidas e sendo utilizadas pelo mundo.

a) Tecnologia DRANCO - *Dry Anaerobic Composting*

Esta tecnologia foi desenvolvida nos anos 1980 pela Ghent University da Bélgica e patenteada pela empresa belga Organic Waste Systems (OWS). É um processo termofílico de digestão anaeróbia de estágio único que opera com alto teor de sólidos (15 a 40% de sólidos totais). A Tabela 9 mostra as unidades comerciais em operação em 2006, 14 na Europa e uma na Ásia. Rosa, 2003 relata que no Brasil esta tecnologia estava em fase de projeto para ser implementada em duas cidades do Rio Grande do Sul (Farroupilha e Caxias do Sul), sendo que não se tem notícias de que realmente foram instaladas.

Tabela 9 - Unidades Dranco no mundo

Unidade	Localização	Capacidade (t/ano)	Início operação
Brecht 1	Bélgica	20.000	1.992
Salsburg	Áustria	20.000	1.993
Bassum	Alemanha	13.500	1.997
Aaberg	Suíça	11.000	1.998
Villeneuve	Suíça	10.000	1.999
Kaiserslauten	Alemanha	20.000	1.999
Brecht II	Bélgica	50.000	2.000
Alicante	Espanha	30.000	2.002
Roma	Itália	40.000	2.003
Laeonberg	Alemanha	30.000	2.004
Hille	Alemanha	38.000	2.005
Munster	Alemanha	24.000	2.005
Terrassa	Espanha	25.000	2.005
Pusan	Coréia do Sul	72.000	2.005
Victoria	Espanha	20.000	2.006

Fonte: (OWS, 2005)

A Figura 4 mostra esquematicamente a operação de uma planta Dranco, que é um tipo de tratamento mecânico biológico (TMB). Após o recolhimento do lixo, os resíduos passam primeiramente por uma triagem (geralmente seleção manual) onde os recicláveis são

separados da parte orgânica. Vidros, ferrosos, plásticos duros e metais, seguem para a reciclagem e papéis, plásticos e papelões são transformados em briquetes.

Figura 4 - Diagrama Esquemático do Processo Dranco

Fonte: (Adaptado de ROSA, 2003)

A parte orgânica segue então para o triturador e depois para a peneira. O material peneirado segue para a unidade de dosagem, recebe vapor, é introduzido no topo do reator, no qual se move verticalmente em fluxo pistonado. Não há misturadores no reator, a mistura é proporcionada pelo movimento descendente e pistonado do lixo e algumas bolhas de gás em movimento ascendente.

Uma porção do material digerido é reciclada e utilizada como material inoculador, enquanto o resto passa pela prensa desaguadora, onde a parte líquida é separada e

encaminhada para a unidade de tratamento de resíduos líquidos. A parte sólida vai para a maturação aeróbica e depois de peneirada segue para a comercialização como composto orgânico.

A taxa de produção de biogás é da ordem de 6 a 10 m³ por m³ de volume de reator por dia (aproximadamente 120 m³ de biogás por tonelada úmida de alimentação) com energia gerada de 0,1 a 0,3 MWh / t de RSU alimentado (OWS, 2005).

b) Tecnologia Kompogas

A tecnologia Kompogas desenvolvida na Suíça há 12 anos é classificada como uma planta de tratamento biológico mecânico, da qual são obtidas duas frações para aproveitamento energético, uma com alto poder calorífico para gerar energia através da queima e a outra, a fração orgânica, que após tratamento biológico gera biogás.

O sistema, como o Dranco, também é alto sólidos, termofílico, e com único estágio de biodigestão. É utilizado preferencialmente para “lixo verde” (inclui o lixo proveniente de corte de grama, poda de árvores; restos de plantas, das folhas e lixo orgânico como os resíduos de feiras livres como frutas, verduras, cascas de alimentos, etc.) e tem ótimo rendimento energético. Atualmente há mais de sessenta plantas com cento e vinte unidades em operação. O Anexo A mostra o local de instalação, o ano de início de operação, a capacidade anual de tratamento de lixo e o tipo de fermentador.

Um esquema do processo, bem como balanço de massa simplificado pode ser visto na Figura 5. Na primeira etapa, o lixo passa por pré-tratamento mecânico, sendo encaminhado a um prédio fechado e submetido a tratamento mecânico que inclui redução de tamanho, remoção dos metais ferrosos e separação dos componentes que podem ser usados para geração de energia, incluindo a fração com alto poder calorífico e a fração biodegradável para tratamento biológico.

O material proveniente das peneiras do pré-tratamento é enviado a um depósito intermediário, o qual garante operação contínua do fermentador. Deste depósito, o material é transferido a um alimentador, onde é produzida uma mistura homogênea e fluida a qual passa por trocadores de calor, sendo depois bombeada aos fermentadores.

O processo de fermentação anaeróbica termofílica (temperatura aproximada de 55 °C) ocorre em biodigestores cilíndricos horizontais com fluxo pistonado e agitação intermitente. O tempo de residência é aproximadamente 14 dias. Uma tonelada de material alimentado ao fermentador gera aproximadamente 100 Nm³ de biogás. Como resultado da fermentação

anaeróbica há decomposição de parte significativa do material orgânico. Na seção seguinte final de compostagem, os resíduos fermentados são submetidos à estabilização final, após serem desumidificados. Parte do efluente líquido é usado como inóculo do fermentador e o restante é encaminhado para o tratamento de efluente anaeróbio, o qual também produz biogás (KOMPOGAS, 2005).

Figura 5 - Esquema da Tecnologia Kompogas

Fonte: (KOMPOGAS, 2005)

Os resíduos desumidificados permanecem por 3 a 4 semanas em processo de compostagem fechada, o que permite que os odores e emissões de compostos de carbono

sejam seletivamente capturados e dirigidos ao sistema de purificação dos gases de exaustão. Antes que o resíduo sólido final seja transferido ao aterro, é estabilizado por outras duas ou três semanas sem aeração. O volume dos gases de exaustão produzidos durante a fermentação é minimizado pela recirculação, sendo o restante tratado até que alcance os limites requeridos (KOMPOGAS, 2005).

Os sistemas de fermentação são feitos em unidades modulares compactas (capacidade anual de 5.000 toneladas métricas de lixo) de aço ou concreto, o que permite ampliações com grande facilidade a baixo custo. Os biodigestores não possuem partes desgastantes o que reduz o custo de manutenção das plantas.

Requerem pouco espaço e não necessitam exigências especiais de subsolo para sua construção, podendo ser construídos na própria área de aterros sanitários, com tempo rápido e baixos custos construtivos. Utiliza pequenos volumes de água de circulação e a redução de tamanho preliminar necessária é modesta, garantindo baixo custo energético de operação. Os produtos finais obtidos são de alta pureza e não há emissões de odores como resultado da fermentação.

De acordo com informações do fabricante, o sistema KOMPOGAS tem elevada taxa de produção de biogás devido ao tratamento biológico do processo levando à utilização otimizada da planta de cogeração. A Tabela 10 mostra o balanço de energia de uma planta Kompogas com capacidade anual de 10.000 toneladas. Nota-se que os valores podem variar em função da composição do lixo alimentado.

Tabela 10 - Dados de uma planta de digestão anaeróbia com capacidade anual de 10.000 toneladas

Produção de energia	
Produção de biogás	1.054.000 Nm ³ / ano
Produção total de energia elétrica em BTPP*	2.078.000 kWh / ano
Produção total de calor em BTPP*	3.240.000 kWh / ano
Consumo de energia no sistema de fermentação (kWh / ano)	
Energia elétrica	290.000
Calor	1.650.000
Produção de energia (kWh / ano)	
Excedente de energia elétrica.	1.788.000
Excedente de energia térmica	1.320.000

* BTPP = unidade de cogeração

Fonte: (KOMPOGAS, 2005)

As tecnologias de conversão energética utilizadas são motores de combustão interna, turbinas de combustão e turbinas com utilização de vapor (ciclo combinado).

Apesar de não fazer parte do escopo desta tese, modernamente os RSU têm sido submetidos a tratamentos integrados denominados tratamentos mecânico biológicos (TMB) que podem englobar, entre outros processos, a triagem, separação, trituração, secagem, digestão anaeróbia, compostagem, aproveitamento energético. Alguns exemplos de TMB na Alemanha, Portugal e Itália são mostrados no Apêndice D. O TMB só é necessário quando os resíduos que serão tratados por digestão anaeróbia estiverem juntos com resíduos não orgânicos, necessitando de todas as etapas de separação e triagem.

Em abril de 2004, a Prefeitura Municipal de Campo Grande/MS publicou o edital de licitação para a contratação de uma empresa para atender 100% das fontes geradoras do município, mediante concessão, para prestação dos serviços de coleta, triagem, tratamento de orgânicos e separação de materiais recicláveis; geração de energia elétrica e disposição final dos RSU, resíduos comerciais e de serviços de saúde, com posterior geração de energia elétrica com capacidade instalada de, no mínimo, 12 MW de potência para processar 450 toneladas por dia de resíduos (CAIXETA, 2005). É o primeiro TMB que se tem notícia no Brasil.

3.3 Panorama de Utilização dos Resíduos de Poda Urbana

Na literatura, há poucos relatos de utilização de resíduos de poda urbana em grande escala, quer para fins energéticos ou não. Além das experiências já apresentadas no final de cada item (compostagem e uso como lenha), a seguir é discutido um caso de aproveitamento de resíduos de poda urbana para compostagem e produção de carvão vegetal e um modelo proposto para os resíduos de poda urbana provenientes do município do Rio de Janeiro.

Em 2007, todos os materiais provenientes das podas do arboreto urbano de Rio das Ostras (estado do Rio de Janeiro) eram enviados ao Horto Municipal de Rio das Ostras e destinados à compostagem (em nível experimental) e à produção de carvão. O adubo obtido era utilizado na produção de mudas do horto, oferecendo uma destinação final diferenciada e, provavelmente, aumentando o tempo de vida útil do aterro local (ALVES, 2007).

Alves (2007) propõe um modelo de aproveitamento eficiente de resíduos de poda urbana para o município do Rio de Janeiro e salienta a importância das ações entre os

variados níveis municipais (secretarias de educação, de meio ambiente, de limpeza urbana e de urbanismo) serem integradas. Como uso final do resíduo de poda, o estudo prevê compostagem, produção de mudas para a recomposição do paisagismo urbano e recuperação de áreas de aterros com espécimes apropriados, confecção de mobiliário urbano e a fabricação de briquetes para queima. Observa a viabilidade de produção de composto orgânico de forma experimental, porém, desconhece qualquer aproveitamento em larga escala dos resíduos podados na área de estudo.

O estudo priorizou a visão delineada pela agenda 21, no capítulo 21: compatibilizar o gerenciamento de resíduos, sólidos com a preservação ambiental, por meio de a) minimização da produção de resíduos; b) maximização de práticas de reutilização e reciclagem; c) promoção de sistemas de tratamento e disposições de resíduos compatíveis com a preservação ambiental; d) extensão da cobertura dos serviços de coleta e destino final. Assim, julgou ser fundamental repensar um novo estilo de vida com mudanças nos padrões comportamentais e culturais, o que exige um trabalho de educação e conscientização no sentido de nortear o aprendizado acerca de resíduos específicos, por meio de parcerias que estimulem o conhecimento por intermédio de oficinas.

Ressalta ainda que o aproveitamento dos resíduos de poda urbana só será completo se houver etapas preliminares, como a coleta prévia de sementes antes da poda e a triagem nas fontes geradoras, a qual requer uma disponibilidade de espaço, impedimento natural por ser realizada em áreas de domínio público, ocasionando uma problemática operacional. Recomenda segregar os resíduos de acordo com o proposto por Laprovitera (2005): em seis classes distintas, a saber: ramos finos e folhagem; lenha de pequena bitola (diâmetro máximo de 5 cm); lenha de média bitola (diâmetro de 5 a 10 cm); toras de bitola inferior (diâmetro de 10 a 20 cm); toras de bitola superior (acima de 20 cm) e raizeiros como pode ser visto nas Figura 6.

Do ponto de vista econômico Alves (2007) sugere a implantação de sistema monetário que possibilite participação de empresas interessadas em produção de mudas, retirando parcelas podadas, e que o valor das mudas produzidas seja revertido por meio de medidas compensatórias, a fim de originar recursos para implantação de áreas de triagem de resíduos de poda. Também indica que outro sistema interessante seria o de permuta, como definido no Termo de Ajustamento de Conduta do Aterro Morro do Céu em Niterói: a madeira é disponibilizada para olarias da região que, em troca reverterem o dado valor em tijolos para outros empreendimentos (EIGENHEER; FERREIRA; ADLER, 2005). Do ponto de vista

ambiental, Alves (2007) reconheceu que haveria impactos positivos no aterro com a retirada dos resíduos de poda urbana (2.838 t em 2004; 2.700 t em 2005 e 1.408 t em 2006).

Figura 6 - Classificação de resíduos de poda urbana

Fonte: (Laprovitera, 2005)

Desta forma, pode-se verificar que os resíduos de poda urbana não são usados e nem tampouco há estudos sobre o uso destes resíduos em larga escala, lacuna que esta tese pretende preencher ao avaliar o aproveitamento energético de resíduos de poda urbana na região metropolitana de São Paulo.

4 ESTUDO DE CASO: ÁREA DE CONCESSÃO DA AES ELETROPAULO

Neste capítulo é realizado estudo de caso, que dá continuidade ao projeto P&D Aneel “Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo”, desenvolvido pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo (USP) no período de 2006 a 2008, que gerou subsídios técnicos para esta tese. Este projeto teve por objetivos: desenvolver (i) mecanismo para quantificação dos resíduos resultantes da poda e da remoção de espécies vegetais arbóreas que interferem na rede aérea de distribuição de energia elétrica destes resíduos; (ii) projeto piloto de uma usina de compostagem destes resíduos, visando a analisar técnica, econômica e ambientalmente a implantação de uma usina de compostagem de resíduos de poda urbana, bem como a qualidade do composto orgânico produzido e o mercado deste produto.

Os resultados deste projeto são importantes para os municípios da área de concessão da AES Eletropaulo, à medida que oferece subsídios técnicos para a realização de compostagem dos resíduos de poda urbana gerados, de maneira eficaz e segura. Esta é uma alternativa para evitar os impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada desses resíduos de poda, principalmente em lixões a céu aberto, além da não utilização de seu potencial como fertilizantes.

Este capítulo apresenta os principais resultados do projeto de P&D mencionado, como panorama da quantidade e destinação final dos resíduos de poda na área de concessão da AES Eletropaulo, as características físico-químicas destes resíduos, bem como a implantação e o desenvolvimento do projeto piloto de compostagem destes resíduos implantado em área do Projeto Pomar da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, localizado na avenida Guido Caloi, 551, no município de São Paulo. Ainda aborda a qualidade do composto orgânico obtido.

Os resultados deste projeto são usados como subsídios técnicos para esta tese, que no capítulo 5 elabora a partir de cenários, a avaliação econômica de três alternativas de aproveitamento de resíduos de poda urbana na região metropolitana de São Paulo: produção de composto orgânico por meio de compostagem, geração de energia elétrica por meio de ciclo a vapor (pequena central termoeletrica) e geração de energia elétrica e composto orgânico por meio de um processo de digestão anaeróbica.

4.1 A AES Eletropaulo e a Área de Concessão

A AES Eletropaulo distribui energia elétrica para cerca de dezesseis milhões de pessoas com quase seis milhões de clientes (unidades consumidoras). Sua área de concessão (Figura 7) abrange 4.526 km² e concentra parte da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a região socioeconômica mais importante do país. Em 2008 vendeu 41.243 GWh para o mercado cativo e livre (o que correspondeu a 35% do consumo estadual e a 9,4% do nacional). Seu sistema elétrico é composto de 149 subestações, 1,7 mil quilômetros de linhas de subtransmissão e 42,4 mil quilômetros de rede de distribuição aérea e subterrânea (AES, 2010).

Figura 7 - Localização da RMSP no Estado de São Paulo.

Fonte: (IGC, 2003)

A área de concessão da AES Eletropaulo é composta por vinte e quatro municípios da RMSP, incluindo a capital. Está dividida em cinco unidades administrativas (Figura 8), sendo três na capital: Norte, Leste, Sul e duas na RMSP: ABC e Oeste.

Figura 8 - Unidades da AES Eletropaulo

Fonte: (Cenbio, 2007d)

A Unidade ABC contempla sete municípios: Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul. A Unidade Oeste, dezesseis: Barueri, Cajamar, Carapicuíba, Cotia, Embu, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Itapevi, Jandira, Juquitiba, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Santana do Parnaíba, São Lourenço da Serra, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista.

4.2 Descrição dos Serviços de Poda Urbana de Árvores

As podas de árvores urbanas visam basicamente conferir à árvore uma forma adequada durante o seu desenvolvimento (poda de formação); eliminar ramos mortos, danificados, doentes ou praguejados (poda de limpeza); remover partes da árvore que colocam em risco a segurança das pessoas (poda de emergência); e extrair partes da árvore que interferem ou causam danos incontornáveis às edificações ou aos equipamentos urbanos (poda de adequação) (SVMA, 2005).

Os governos municipais são os responsáveis pela execução dos serviços de poda de árvores; bem como pela gestão e destinação dos resíduos gerados. Os municípios, principalmente os localizados nos grandes centros urbanos, necessitam atingir o equilíbrio entre a urbanização e a arborização, uma vez que esta é importante pelas ações de melhoria do

microclima, de controle das poluições sonora, visual e atmosférica, de proteção térmica, de abrigo e alimento aos animais, de quebra da monotonia da paisagem pelos diferentes aspectos e texturas e pela estética das cidades (MELLO FILHO, 1985).

Entretanto, a convivência entre as redes de distribuição de energia elétrica e a arborização é um dos grandes desafios para as prefeituras e concessionárias de energia elétrica nos diversos estados brasileiros. Na maioria das vezes, este problema se agrava pelo fato de que a arborização e as implantações dos sistemas elétricos de distribuição são planejados e realizados de forma independente, o que resulta em uma disputa entre as árvores e as redes de distribuição pelo mesmo espaço físico (VELASCO, 2003). Assim, há a necessidade de poda dessas árvores, para que seja permitida a coexistência da vegetação, sem causar prejuízos aos serviços de distribuição de energia elétrica (PALERMO Jr, 1987).

Desta forma, as concessionárias de energia elétrica realizam os serviços de poda das árvores que interferem na rede de distribuição elétrica, para que não haja interferência na qualidade do serviço oferecido à população. De acordo com Cenbio (2007a), de uma amostra de dezesseis municípios atendidos pelas principais concessionárias de energia elétrica do país, aproximadamente, 70% descartava os resíduos de poda em lixões ou aterros sanitários.

Na época de realização do Projeto de P&D “Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda e remoção de árvores na área de concessão da AES Eletropaulo” a empresa realizava duas modalidades de poda: programada e emergencial. As podas programadas eram realizadas por empresas prestadoras deste serviço em todas as unidades de concessão, bem como a coleta e transporte dos resíduos gerados, com exceção da Unidade Oeste, na qual o serviço de poda feito por empresa prestadora de serviço e a coleta e transporte dos resíduos gerados, efetuados pelos municípios.

As podas emergenciais (e eventualmente as remoções de árvores ou parte delas) eram executadas por turma própria da AES Eletropaulo. A quantidade de resíduos gerados nesta modalidade era bem menor, haja vista que uma boa programação de podas nos circuitos elétricos evita as podas emergenciais.

Os resíduos da poda programada provenientes das Unidades localizadas no município de São Paulo (Norte, Leste e Sul) eram destinados a uma empresa que transforma o material recebido em biomassa para ser utilizada como combustível para caldeira. Parte dos resíduos das podas emergenciais tinha o mesmo destino, sendo o restante encaminhado a aterros industriais.

No levantamento realizado, todos os municípios das Unidades ABC e Oeste foram contatados, receberam questionário para a coleta de informações sobre a quantidade e

destinação dos resíduos de poda. Por motivo de confidencialidade, os resultados serão apresentados desagregados por município.

4.3 Estimativa da Quantidade Anual de Resíduos Vegetais Provenientes da Poda de Árvores

Os serviços de poda de árvores realizados pelas equipes próprias da AES Eletropaulo e pelas empresas contratadas, na época de desenvolvimento do projeto de P&D geraram 41.575 m³/ano de resíduos, sendo a média mensal de 3.465 m³/ano (CENBIO, 2007d). A Tabela 11 apresenta a distribuição por região administrativa da AES Eletropaulo.

Tabela 11 - Estimativa da quantidade de resíduos de poda urbana gerados na área de concessão da AES Eletropaulo

Região	Quantidade de resíduos de poda urbana	
	m ³ / mês	m ³ / ano
Norte	843	10.116
Sul	593	7.116
Leste	278	3.336
ABC	563	6.756
Oeste	1.187	14.244
Total	3.465	41.568

Fonte: (Elaboração própria a partir de CENBIO, 2007d)

Como os resíduos das podas programadas e emergenciais realizadas nos municípios da Unidade Oeste e parte dos resíduos provenientes das podas emergenciais realizadas nos municípios da Unidade ABC eram coletados pelas respectivas prefeituras, a equipe do Projeto de P&D realizou levantamento junto a estes municípios a fim de identificar as quantidades de resíduos de poda gerados por município. Os resultados não serão mostrados, por motivo de confidencialidade. Foi verificado que apenas 48% dos municípios forneceram as informações solicitadas, sendo que nove municípios declararam não fazer esta contabilização na época. As quantidades informadas eram referentes aos resíduos gerados pelos serviços executados pela AES Eletropaulo (ou por empresas por ela contratadas) e pelas próprias prefeituras (CENBIO, 2007d).

4.4 Disposição dos Resíduos de Poda Urbana

Após levantamento realizado nos 24 municípios da área de concessão da AES Eletropaulo, foi verificado que a destinação dos resíduos de poda urbana provenientes dos serviços executados pela AES Eletropaulo ou por empresas terceirizadas tinham destinações diferentes quando a coleta era realizada pela AES (ou empresas contratadas) e pelos municípios, como pode ser visto no Quadro 4.

Tipo de coleta de resíduos de poda urbana	Destinação
AES Eletropaulo ou empresas contratadas	Aterros sanitários ou aproveitamento energético
Municípios	Disposição direta no solo, aterros sanitários; lixões; compostagem; queima a céu aberto; reutilização e aproveitamento energético

Quadro 4 - Destinação dos resíduos de poda urbana na área de concessão da AES Eletropaulo

Fonte: (Elaboração própria a partir de Cenbio 2007c)

Assim, a destinação dos resíduos de poda urbana provenientes dos serviços realizados pela AES ou empresas terceirizadas apresentava sete destinações diferentes: disposição direta no solo (em regiões de mata); disposição em aterros sanitários; disposição em lixões; compostagem; queima a céu aberto; reutilização e aproveitamento energético (CENBIO, 2007c). O capítulo 6 apresenta a análise dos impactos de todas estas formas de destinação.

Para a elaboração do Gráfico 11 (que apresenta os resultados do levantamento) a disposição direta no solo, a queima a céu aberto e a reutilização não foram consideradas porque se tratam de quantidades desprezíveis no montante do total do município. Lixões e aterros foram agregados por conta da não exposição dos municípios da área de estudo, uma vez que a pesquisa não tinha caráter investigativo e nem punitivo para os municípios, buscava identificar as formas de destinação dos resíduos e propor alternativa sustentável de disposição final.

Gráfico 11 - Destinação final dos resíduos de poda provenientes da área de concessão da AES Eletropaulo

Fonte: (CENBIO, 2007c)

Com relação aos 42% dos municípios que destinam os resíduos para aproveitamento energético, os resíduos de poda urbana são encaminhados a empresas beneficiadoras de resíduos de madeira, que os transformam em biomassa para posterior comercialização como combustível de caldeiras, como fonte de energia térmica. Este processo transforma resíduos em biocombustíveis sólidos que substituem os tradicionais combustíveis fósseis, como óleo diesel e gás natural. Sendo assim, esta utilização poderia até fazer parte do mercado de créditos de carbono devido à redução de emissão de CO₂.

Oito por cento dos municípios destinam os resíduos de poda para compostagem possibilitando que a matéria orgânica presente nestes resíduos retorne ao solo na forma de composto.

Nota-se que ainda metade desses municípios deposita seus resíduos de poda em aterros sanitários e lixões não permitindo o aproveitamento do poder calorífico e nem da matéria orgânica presente.

O P&D estudou a utilização destes resíduos para a obtenção de composto orgânico em uma usina piloto de pequeno porte. A partir destes resultados obtidos, esta tese propõe o uso destes resíduos de poda urbana para compostagem de grande porte, e duas formas de geração de energia (ciclo a vapor e digestão anaeróbia).

4.5 Caracterização dos Resíduos de Poda de Árvores

A fim de caracterizar o poder calorífico e as propriedades físico-químicas de resíduos de poda de árvores, o Projeto de P&D coletou amostras de resíduos de poda de árvores armazenadas no Parque Chico Mendes localizado no município de Osasco e provenientes de serviços de poda efetuados no mesmo município.

As amostras foram preparadas da seguinte maneira: as folhas (juntamente com seus galhos mais finos) foram retiradas dos galhos principais constituindo a amostra de “Material 1”. A sobra (formada principalmente de galhos, isto é, material lenhoso) constituiu a amostra de “Material 2”. Os resíduos de poda da maneira que estavam depositados no pátio (galhos e folhas) constituíram a amostra chamada de “Material 3”.

As análises do poder calorífico foram feitas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT)¹⁴ e as das propriedades físico-químicas pelos laboratórios especializados da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ). Os resultados estão apresentados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 - Resultados das análises de poder calorífico

Material Ensaiado	Umidade (% massa)	Hidrogênio (% massa)	Enxofre Total (% massa)	Poder Calorífico Superior (kcal/kg)	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg) ^(a)
Material 1 (folhas)	56 ± 4	5,6 ± 0,1	0,28	4.300	4.100
Material 2 (galhos)	50 ± 4	5,6 ± 0,1	0,10 ± 0,01	4.500	4.300
Material 3 (mistura de galhos e folhas)	51 ± 4	6,0 ± 0,1	0,17 ± 0,01	4.500	4.300

^(a) em base seca.

Fonte: (CENBIO, 2008b)

¹⁴ Os métodos utilizados nos ensaios foram:

- Umidade: NBR 8112/86: Carvão Vegetal – Análise Imediata.

- Hidrogênio: ASTM D 5291-02: *Standard Test Method for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Petroleum Products and Lubricants*.

- Enxofre Total: ASTM D 4239-04a: *Standard Test Methods for Sulphur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High Temperature Tube Furnace Combustion Method*.

- Poder Calorífico: ASTM D 5865-04: *Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke*.

Tabela 13 - Resultados das análises físico-químicas

Determinações	Material 1 (folhas)		Material 2 (galhos)		Material 3 (mistura de galhos e folhas)	
	Umidade Natural	Base Seca (110 °C)	Umidade Natural	Base Seca (110 °C)	Umidade Natural	Base Seca (110 °C)
pH em CaCl ₂ 0,01 Molar	6,7	-	6,6	-	5,6	-
Densidade (g/cm ³)	0,18		0,26		0,15	
Umidade Perdida a 60-65°C (%)	56,19	-	27,56	-	45,82	-
Umidade Perdida entre 65 e 110 °C (%)	2,29	-	2,83	-	3,13	-
Umidade Total (%)	58,48	0	30,39	0	48,95	0
Inertes	0		0		0	
Matéria Orgânica Total (combustão) (%)	35,72	86,03	66,35	95,32	48,32	94,65
Matéria Orgânica Compostável (%)	34,41	82,88	61,89	88,91	47,24	92,54
Matéria Orgânica Resistente à Compostagem (%)	1,31	3,16	4,46	6,41	1,08	2,12
Carbono Total (Orgânico e Mineral) (%)	19,84	47,78	36,86	52,95	26,85	52,60
Carbono Orgânico (%)	19,12	46,05	34,39	49,40	26,25	51,42
Resíduo Mineral Total (%)	5,80	13,97	3,26	4,68	2,73	5,35
Resíduo Mineral Insolúvel (%)	0,67	1,61	0,13	0,19	0,12	0,24
Resíduo Mineral Solúvel (%)	5,13	12,36	3,13	4,50	2,61	5,11
Nitrogênio Total (%)	0,74	1,78	0,5	0,72	0,77	1,51
Fósforo (P ₂ O ₅) total (%)	0,08	0,19	0,02	0,03	0,05	0,10
Potássio (K ₂ O) total (%)	0,72	1,73	0,34	0,49	0,79	1,55
Cálcio (Ca) total (%)	1,62	3,90	1,19	1,71	0,63	1,23
Magnésio (Mg) total (%)	0,16	0,39	0,09	0,13	0,08	0,16
Enxofre (S) total (%)	0,08	0,19	0,03	0,04	0,03	0,06
Relação C/N (C total e N total)	27/1	27/1	74/1	74/1	35/1	35/1
Relação C/N (C Orgânico e N total)	26/1	26/1	69/1	69/1	34/1	34/1
Cobre (Cu) total (mg/kg)	10	24	9	13	9	18
Manganês (Mn) total (mg/kg)	50	120	14	20	17	33
Zinco (Zn) (mg/kg)	17	41	20	29	13	25
Ferro (Fe) total (mg/kg)	531	1.279	113	162	88	172
Boro (B) (mg/kg)	8	19	5	7	4	8
Sódio (Na) total (mg/kg)	170	409	215	309	158	310

Fonte: (CENBIO, 2008b)

4.6 Desenvolvimento do Projeto Piloto de Compostagem com os Resíduos de Poda Urbana

O projeto piloto de compostagem foi instalado em área cedida na sede do Projeto Pomar (projeto de revegetação das margens do Rio Pinheiros no município de São Paulo, administrado pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, do qual a AES Eletropaulo é uma das empresas parceiras) situada na av. Guido Caloi, 551.

A área cedida pelo Projeto Pomar para a instalação da usina piloto de compostagem pode ser vista na Figura 9 e contém pátio concretado de 120 m² de uso exclusivo do Projeto Pomar, dois pátios concretados com 80 m² (8m por 10m) cada, sendo um cedido pelo Projeto Pomar e outro construído pelo projeto de P&D (Figura 10), nos quais foram montadas as leiras do projeto piloto e uma área destinada ao recebimento de resíduos de poda e trituração.

Figura 9 - Área destinada para a usina de compostagem de resíduos de poda (P&D)

Fonte: (Cenbio, 2008b)

Figura 10 - Pátio de compostagem concretado

Fonte: (Cenbio, 2008b)

No projeto piloto foram selecionados dois métodos de compostagem, diferindo entre si pela forma de aeração das leiras, necessária para que as condições aeróbias de decomposição sejam mantidas: (i) revolvimento manual e (ii) aeração estática. Como foram instalados em épocas diferentes foram denominadas respectivamente Fase I e Fase II. Em cada fase foram montadas doze leiras, totalizando vinte e quatro leiras nas duas fases.

A aeração estática usada no projeto piloto é uma variação do método apresentado no item 3.1.2.1.3, pois não há aeração forçada. São utilizados túneis de vento (Figura 11), os quais permitem de forma natural a troca de ar contido dentro das leiras e o ar exterior.

Figura 11 - Túnel de vento para sustentação das leiras

Fonte: (CENBIO, 2008b)

Um dos parâmetros determinantes, e sem dúvida, o mais importante na velocidade de compostagem e por consequência no tempo do processo é a relação entre o Carbono (C) e o Nitrogênio (N), relação C/N do material a ser decomposto (LOPEZ-REAL, 1990; NAKASAKI *et al.*, 1992 apud BARREIRA, 2005). Quanto mais elevada a relação, maior será o tempo necessário para que a humificação da matéria orgânica seja atingida (KIEHL, 1998).

A relação C/N inicial teoricamente mais favorável para compostagem rápida e eficiente é de 30/1; sendo considerados na prática os valores entre 25/1 a 35/1. No início da decomposição, os microorganismos absorvem os elementos Carbono e Nitrogênio em uma proporção de trinta partes de C para cada parte de N. O Carbono é utilizado como fonte de energia, sendo que dez partes do Carbono assimilado são imobilizadas (convertidas da forma mineral para orgânica) e incorporadas ao protoplasma celular dos organismos decompositores, e vinte partes eliminadas na atmosfera como gás carbônico (LIMA, 1981).

Os resíduos de poda urbana são ricos em Carbono sendo aconselhável a adição de outras substâncias ricas em Nitrogênio (neste estudo, chamadas de aditivos) para que o material a compostar tenha a relação C/N inicial mais adequada. Tais aditivos podem ser usados puros ou misturados.

Os aditivos selecionados para o projeto foram lodo desidratado, esterco equino e uréia (Figura 12). Os critérios analisados foram teores de Nitrogênio, oferta, facilidade de obtenção e custo. A uréia foi comprada. Os aditivos considerados resíduos (lodo proveniente da estação de tratamento de efluentes – ETE de Barueri e esterco equino do Jockey Club de São Paulo) foram doados, mas foi necessário custear o frete do local de geração até o projeto Pomar.

Figura 12 - Leiras montadas com os aditivos. (a) lodo ativado, (b) esterco equino e (c) uréia comercial.

Fonte: (CENBIO, 2008b)

O lodo e o esterco são resíduos que necessitam de tratamento especial e, portanto a utilização na compostagem é uma boa alternativa para disposição. Além disto, o lodo está disponível em todas as regiões que têm estações de tratamento de esgoto e de água em

funcionamento. As restrições de uso dos compostos orgânicos obtidos com lodo de ETE serão mencionadas no item 4.7. Outro tipo de resíduo também problemático e que pode ser usado como aditivo na compostagem são os resíduos verdes provenientes de feiras livres, supermercados, centrais de abastecimento, constituídos de alta carga orgânica, bem como os resíduos de restaurantes.

A relação C/N do material a ser decomposto é dada pela Equação 1, que é um balanceamento entre as fontes de carbono (resíduos de poda) e as fontes de nitrogênio selecionadas. A mesma leira pode ser montada com mais de um aditivo.

$$\frac{\Sigma C}{\Sigma N} = \frac{m_{FC} \times \text{teor de } C_{FC} + m_{FN} \times \text{teor de } C_{FN}}{m_{FC} \times \text{teor de } N_{FC} + m_{FN} \times \text{teor de } N_{FN}} \quad \text{Equação (1)}$$

onde:

m_{FC} = massa da fonte de carbono (em base seca)

m_{FN} = massa da fonte de nitrogênio (em base seca)

teor de C_{FC} = fração em peso (em base seca) de carbono na fonte de carbono;

teor de N_{FC} = fração em peso (em base seca) de nitrogênio na fonte de carbono;

teor de C_{FN} = fração em peso (em base seca) de carbono na fonte de nitrogênio;

teor de N_{FN} = fração em peso (em base seca) de nitrogênio na fonte de nitrogênio.

A Tabela 14 apresenta as características (relação C/N, % em peso de carbono e nitrogênio em base seca, e % em peso de umidade) dos resíduos de poda (fonte de carbono) e dos aditivos selecionados pelo P&D (fontes de nitrogênio) utilizados na montagem das leiras da usina piloto de compostagem.

Tabela 14 - Características dos resíduos de poda e dos aditivos utilizados na usina piloto de compostagem

	Relação C/N	C (% peso em Base Seca)	N (% peso em Base Seca)	Umidade (% peso)
Fonte de Carbono				
Resíduos de poda de árvore	35/1	52,6	1,51	40
Fontes de Nitrogênio				
Esterco	18/1	25,56	1,44	60
Lodo	11/1	42,73	3,97	70
Uréia	0/45	0	45	30

Fonte: (Elaboração própria a partir de Cenbio, 2008b)

Como a área disponível para a montagem das leiras era de 80 m², a equipe do P&D optou por montar leiras de formato retangular com as seguintes dimensões: altura (h): 1,1 m; largura (l): 1,4 m e comprimento (L): 2,2 m com área de circulação de 8,5%. (o roteiro completo encontra-se no Apêndice E). A área de circulação usada foi menor do que a prevista no roteiro, por conta de falta de espaço.

A partir do volume da leira (3,4 m³) e da densidade dos resíduos de poda (150 kg/m³ - Tabela 13) foi determinada a massa de cada leira testemunha (apenas com resíduos de poda de árvores) de 508 kg. Assim, cada leira testemunha foi montada com 515 kg de resíduos de poda, e as outras com a mesma quantidade de resíduos de poda além de 213 kg de esterco de cavalo, 98 kg de lodo e 5,5 kg de uréia, totalizando 6.180 kg de resíduos de poda urbana, 639 kg de esterco de cavalo, 294 kg de lodo e 16,5 kg de uréia nas 12 leiras montadas na Fase I. A mesma quantidade de resíduos de poda e de aditivos foi utilizada para as doze leiras da Fase II.

Para o desenvolvimento do projeto piloto, foi necessária a utilização dos seguintes equipamentos: triturador (de propriedade da AES Eletropaulo, que também se responsabilizou pelo combustível, manutenção e peças de reposição), balança, termopares, pHmetro, Equipamentos de Proteção Individuais (EPIs) como luvas, botas e óculos (comprados pelo P&D); pás, carriolas, enxadas e peneira (emprestados pelo Projeto Pomar) e estruturas de sustentação das leiras e os túneis de vento (confeccionados pela equipe do Cenbio nas Oficinas de Manutenção e Serviços do IEE).

4.6.1 Montagem das Leiras

Os resíduos de poda com diâmetro inferior a 25 cm (calibre do triturador) foram triturados (Figura 13). Os resíduos de maior diâmetro não foram aproveitados. As leiras das duas fases foram montadas da mesma maneira, em camadas sendo a 1^a composta apenas por folhas trituradas responsáveis pelo início da compostagem, a 2^a de aditivo, a 3^a de resíduos de poda triturados, a 4^a de aditivo e a 5^a e última de resíduos de poda triturados. As camadas foram umedificadas com água provenientes da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp).

Figura 13 - Trituração de resíduos de poda

Fonte: (CENBIO, 2008b)

As leiras foram montadas com espaçamento de 20 cm e devido ao espaço reduzido, a equipe do P&D optou por utilizar estruturas de madeira para separar as leiras e evitar contaminação entre as diferentes leiras com os diversos aditivos, além de auxiliar durante as operações de revolvimento. A Figura 14 mostra as leiras da Fase I montadas (as leiras da Fase II foram montadas da mesma maneira). Em pátios de compostagem maiores, as estruturas não precisariam ser usadas.

Figura 14 - Fase I: leiras montadas com estruturas de sustentação

Fonte: Cenbio (2008b)

Nas leiras da Fase II, após 20 a 30 dias (dependendo das condições das leiras), as leiras foram reviradas para cima dos túneis de vento e remontadas. Até o término do processo de compostagem, as leiras não sofreram mais revolvimento e os túneis de vento não foram retirados (Figura 15).

Figura 15 - Fase II: leiras com túneis de vento

Fonte: (Cenbio, 2008a)

4.6.2 Operação da Usina de Compostagem

Após a montagem das leiras, iniciou-se a operação da usina de compostagem, que consistiu basicamente no revolvimento, umedecimento das leiras, no monitoramento da temperatura e pH, a fim de controlar o comportamento dos microorganismos presentes responsáveis pela compostagem do material.

Ressalta-se aqui a importância do revolvimento para garantir a aeração adequada e, portanto as condições aeróbicas apropriadas para a degradação da matéria orgânica, além de evitar odores desagradáveis. Por sua vez, a umidificação é necessária porque as leiras perdem água na forma de vapor devido ao calor liberado nas reações de degradação da matéria orgânica no interior da leira e nas camadas mais externas pela ação do vento, que remove a camada saturada de vapor formada em volta da leira, ressecando-a.

Fase 1 – Leiras revolvidas

O revolvimento foi feito manualmente. As leiras eram individualmente tombadas para frente, revolvidas e reorganizadas. Após quinze dias de início do processo de compostagem, as leiras foram revolvidas pela primeira vez (Figura 16). Operação que se repetiu a cada quinze dias (em média) até o 85º dia, quando a temperatura abaixou repentinamente (em torno de 20 °C) e as leiras foram revolvidas semanalmente até a reestabilização da decomposição. Esta manobra foi necessária porque a relação C/N ainda estava muito elevada, sinal de que o composto ainda não estava pronto.

Figura 16 - Primeiro revolvimento (04/07/07)

Fonte: (Cenbio, 2008a)

A operação de umidificação ocorreu em média uma vez por semana, toda vez que a equipe do projeto percebia que o material estava muito seco. Após 140 dias do início do processo de decomposição, o fornecimento de água foi suspenso a fim de verificar se a ação microbiana cessaria. Foi constatado, mesmo nestas condições, que as temperaturas não estabilizaram, o que demonstrou que o processo de decomposição ainda não havia terminado. A Figura 17 mostra uma das três leiras de compostagem montada com resíduos de poda e lodo pertencente à Fase I. As leiras que eram retangulares tomaram uma forma triangular no decorrer do processo.

Figura 17 - Leira de compostagem Fase I (14/11/2007)

Fonte: (Cenbio, 2008a)

Desta maneira, as leiras da Fase I foram revolvidas e umedecidas no 173º dia pela última vez. No 192º dia após a montagem das leiras, o processo de compostagem foi finalizado, pois o produto da compostagem estava estabilizado, apto para o peneiramento e análises para determinação da qualidade do composto orgânico obtido.

Fase II – Leiras Estáticas

Após 21 dias do início da montagem das leiras, durante a coleta de amostras para análise, a equipe do projeto constatou que o material estava muito compactado o que evitaria a troca de ar no interior das leiras e dificultaria a medição de temperatura, devido à dificuldade para introdução dos termopares, e as leiras foram revolvidas. No 42º dia, as leiras foram novamente revolvidas e desta vez acomodadas em cima dos túneis de vento, ficando também nas formas triangulares (Figura 18). Até a colocação dos túneis de vento, as leiras eram umedecidas uma vez por semana e depois a cada dois ou três dias, sempre que a equipe verificava que a leira estava muito seca. No 162º dia após a montagem das leiras, o processo de compostagem da Fase II foi encerrado, estando o produto da compostagem apto para o peneiramento e análises para determinação da qualidade do composto orgânico obtido.

Figura 18 - Fase II com túneis de vento - umedecimento

Fonte: (Cenbio, 2008a)

4.6.3 Peneiramento do Composto

A operação de peneiramento é necessária para separar eventuais partículas grandes provenientes da trituração dos resíduos de poda que devido ao maior tamanho sofreram decomposição incompleta. Desta forma, o composto obtido fica homogêneo, com menor granulometria e de melhor qualidade. Foram obtidas duas frações. Para cálculo de rendimento do processo, a fração mais fina é o composto orgânico e a fração mais grossa é um material que pode ser reutilizado, sendo novamente triturado e decomposto ou incorporado ao solo em áreas degradadas, ou até vendido como um material semelhante à casca de pinus compostado ou substrato de casca de pinho compostado. A Figura 19 mostra o peneiramento das leiras de compostagem da Fase I, na qual as duas frações obtidas podem ser observadas.

Figura 19 - Peneiramento do composto

Fonte: (Cenbio, 2008a)

O composto orgânico obtido foi ensacado e identificado. O material proveniente da fração grossa foi empilhado e coberto com lona (Figura 20).

Figura 20 - Composto orgânico e fração grossa produzidos no pátio de compostagem do P&D

Fonte: (Cenbio, 2008a)

Os resultados obtidos após a operação de pesagem do composto orgânico de fração fina e da fração grossa para as leiras testemunha (apenas com resíduos de poda), e com os três aditivos (uréia, esterco e lodo) para as duas fases: Fase I (leiras revolvidas) e Fase II (aeração

estática) são mostrados na Tabela 15. A redução da massa, em cada leira, foi calculada pela subtração da massa total de cada leira pela soma da massa do composto orgânico e da fração grossa. O rendimento de produção foi calculado dividindo-se a massa do composto orgânico obtido pela massa total da leira.

Tabela 15- Rendimento da produção de composto orgânico

	Redução de massa média (%)		Rendimento médio (%)	
	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II
T	4%	24%	59%	50%
U	10%	26%	59%	50%
E	23%	20%	49%	57%
L	12%	24%	54%	51%

T = testemunha (sem aditivo) U = uréia E = esterco L = lodo

Fonte: (Cenbio, 2008b)

Pode-se verificar que não há uma correlação entre o tipo de aditivo usado e a redução de massa média e nem o rendimento, entre as duas Fases do projeto piloto. Desta forma, não foi possível verificar quantitativamente qual o melhor tratamento e método de aeração.

4.6.4 Monitoramento da Leiras

O monitoramento do controle da maturação foi realizado de duas maneiras, com métodos locais (medições de temperatura do interior das leiras por meio de um termômetro e termopares de 500, 700 e 1000 mm e do pH por meio de um pHmetro) e análises nos laboratórios especializados da ESALQ.

a) Temperatura

O Gráfico 12 mostra a evolução da temperatura durante todo o período da compostagem das leiras da Fase I e Fase II. Nota-se que nos dias iniciais, a temperatura se eleva, característica indicadora que a compostagem principiou, com a predominância dos produtos de fácil decomposição microbiológica e, por isso, com atividade mais intensa, e maior liberação de CO₂ e energia na forma de calor.

A fase termófila caracterizada por temperaturas acima de 45 °C, na qual os microrganismos patogênicos e as sementes de plantas daninhas são eliminadas com maior segurança (KIEHL, 1998) ocorreu por duas semanas para a maioria dos tratamentos, sendo mais evidenciada nas leiras com revolvimento manual (Fase I). A fase mesófila com temperaturas até cerca de 40 °C, na qual as bactérias são mais eficientes, decompondo mais rapidamente também foi mais acentuada nas leiras da Fase I.

Verifica-se que a estabilização da temperatura das leiras da Fase II foi mais rápida do que as da Fase I. Nas duas fases, a maior parte do tempo, as leiras foram mantidas na Fase mesófila, de decomposição mais rápida.

Gráfico 12 - Variação da Temperatura ao longo do processo de compostagem: (a) Fase I (b) Fase II.

Fonte: (Cenbio, 2008b)

b) pH

Nota-se, no Gráfico 13 que o pH no início é ácido, se eleva à medida que o processo de compostagem se desenvolve, passando pelo pH 7,0 (neutro) e atingindo pH básico. As leiras da Fase II, atingiram pH superior a 8,0 e as da Fase I, em torno de 7,5. Portanto o pH final de todas as leiras demonstra que o processo de decomposição foi eficiente, e que o composto orgânico final está maturado ou humificado. Nota-se comportamento mais uniforme no pH das leiras da Fase II.

(a)

(b)

Gráfico 13 - Variação do pH ao longo do processo de compostagem (a) Fase I (b) Fase II

Fonte: (Cenbio, 2008b)

c) Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)

A relação C/N é um indicador do grau de estabilização da matéria orgânica, do ponto de vista ao ataque microbiano, bem como da estabilidade deste material quando colocado no solo (FIALHO et al., 2005). Durante o processo de decomposição das leiras, houve significativa diminuição da relação C/N em função do tempo, como pode ser visto no Gráfico 14. As leiras testemunha foram encerradas com teor relativamente alto (média de 23 e 22, respectivamente para as Fases I e II), não obtiveram relação C/N satisfatória, sendo que estes compostos ainda estão imaturos, podendo ser adicionados ao solo, onde ocorrerá a maturação final, para depois poder ser realizada a semeadura ou plantação. Todas as outras leiras produziram compostos orgânicos bioestabilizados.

(a)

(b)

Gráfico 14 - Variação da relação C/N ao longo do processo de compostagem. (a) Fase I (b) Fase II

Fonte: (Cenbio, 2008b)

d) Umidade

Nota-se, no Gráfico 15 que a umidade das leiras de compostagem esteve acima dos padrões considerados ótimos (55%), na maior parte do tempo do processo. Mesmo assim, não houve problemas com mau cheiro, nem com a qualidade final do composto orgânico produzido (a não ser pelo elevado teor de umidade). Desta maneira, é necessário controle mais eficaz da umidade, e evitar a provável lixiviação de nutrientes que pode ter ocorridos nas leiras das duas Fases, principalmente nas da Fase II. Desta forma, o produto final obtido poderia ser mais rico de nutrientes.

Gráfico 15 - Variação da Umidade Total ao longo do processo de compostagem: (a) Fase I (b) Fase II

Fonte: (Cenbio, 2008b)

e) Macronutrientes e Micronutrientes

Os teores dos macronutrientes (Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Enxofre) e micronutrientes (Boro, Cobre, Ferro, Manganês, Sódio e Zinco) variam no decorrer do processo de compostagem. Os macro e micronutrientes são essenciais na fase final do composto (humificação) devido seus efeitos benéficos na nutrição das plantas como por exemplo melhor absorção pelo fato dos micronutrientes estarem na forma de quelatos, liberação lenta de Fósforo, Nitrogênio, Enxofre e água e a solubilização de nutrientes nos solos minerais, entre outros.

As Tabelas 16 e 17 mostram a variação percentual de enriquecimento dos micro e macronutrientes, bem como a composição final nos compostos orgânicos obtidos. O aumento da concentração de nutrientes que ocorre com o processo de compostagem se deve ao fato da grande perda de Carbono na forma de Dióxido de Carbono, ocasionando um aumento relativo da concentração dos elementos inorgânicos (KIEHL, 1998).

Tabela 16 - Resultados dos micronutrientes

Tipo	Total micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, Na e Zn (mg/kg)		Variação percentual (%)		
	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II*	Fase II**
T	4.436	8.651	106	61	180
U	4.453	11.221	211	16	193
E	4.580	6.899	319	25	344
L	7.600	21.136	440	76	852

* em relação aos 30 dias de decomposição finais da Fase II

** em relação aos resultados iniciais da Fase I

Fonte: (CENBIO, 2008b)

Tabela 17 - Resultados dos macronutrientes

Tipos	Total macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, e S (% em peso)		Variação percentual (%)	
	FASE I	FASE II	FASE I	FASE II
T	6,96	6,91	39,2%	18,8%
U	8,60	9,15	56,4%	32,9%
E	9,24	8,41	40,5%	39,2%
L	8,80	9,18	47,5%	41,7%

Fonte: (CENBIO, 2008b)

4.7 Qualidade do Produto Obtido na Usina Piloto de Compostagem

Neste ponto é importante informar que, de acordo com Cenbio (2008c), o produto resultante dos processos de compostagem de resíduos sólidos orgânicos é comercializado sob as mais diversas denominações (adubo orgânico, composto orgânico, terra vegetal, fertilizante orgânico, condicionador de solo, corretivo, entre outros). Desta forma, fica difícil tecer uma comparação adequada com os produtos da compostagem da usina piloto com os de mercado.

Contudo, após análise da legislação vigente do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que regula o setor (Decreto nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004 do MAPA complementado pela Instrução Normativa nº35, de 4 de julho de 2006 do MAPA e da Secretaria de Defesa Agropecuária), o produto obtido com a compostagem do projeto de P&D foi identificado como condicionador do solo, “produto que promove a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou atividade biológica do solo, podendo recuperar solos degradados ou desequilibrados nutricionalmente” (BRASIL, 2006a. p. 1)

De acordo com a mesma Instrução Normativa, (Capítulo II, Seção V, Art. 6º), os produtos obtidos são condicionadores de solo classe A (leiras testemunha, de esterco e de uréia) e classe D (lodo).

A Tabela 18 apresenta um resumo das características observadas dos condicionadores de solo produzidas na usina experimental de compostagem do P&D para comparação junto a Instrução Normativa SDA / MAPA vigente.

Tabela 18 - Características dos condicionadores de solo produzidas na usina experimental de compostagem do P&D

Tipo / Fase	pH		Carbono Orgânico (%)		N (%)		NPK (%)		Relação C/N		Umidade Total (%)		CTC ^(a) (mmolc/kg)
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	II
T	7,3	7,4	36,8	37,0	1,94	2,15	2,61	2,97	23/1	22/1	69,1	69,7	237,8
U	7,4	7,6	36,8	34,9	2,73	2,87	3,84	3,9	16/1	15/1	71,9	78,0	371,3
E	7,5	7,7	36,6	36,8	2,59	2,62	4,44	3,32	18/1	18/1	72,7	75,9	376,0
L	7,1	7,1	36,7	34,9	2,37	2,78	3,88	4,23	18/1	15/1	71,5	74,3	-x-
Garantias mínimas vigentes para fertilizante orgânico composto ^(b)													
Classe A	Mín. 6,0		Mín. 15		Mín. 1		Conforme declarado		Max 18		Max 50		Mín. 200
Classe D											Max 70		
Tolerância	Não há		10%		20%		Não há		Não há		10%		10%

^(a) Ainda de acordo com Brasil (2006a), há a especificação para capacidade de retenção de água (CRA) = mínimo de 60%. Não foi efetuada esta análise porque a ESALQ deixou de realizar este teste por falta de padronização da metodologia (informação verbal ¹⁵). A CRA é a capacidade de um determinado material reter água, expresso pelo percentual de água retida em relação à massa total do material.

^(b) capacidade de troca catiônica (CTC): quantidade total de cátions adsorvidos por unidade de massa, expresso em mmol c/kg.

Fonte: Elaboração própria a partir de Cenbio (2008b)

Baseado em todos os parâmetros analisados para comparação com as especificações mínimas vigentes, é possível destacar a umidade total, que deveria ser de no máximo 50% para as leiras testemunha, uréia e esterco, e cuja especificação não foi atingida nesse processo de compostagem. O composto orgânico proveniente do lodo está na faixa de tolerância para este parâmetro (até 77%).

Como uma das prováveis causas, aponta-se o controle da umidade não ter sido realizado de maneira adequada, sendo utilizada mais água do que o necessário. Sugere-se que

¹⁵ Informação fornecida por Gilmar do laboratório de hidráulica da ESALQ em janeiro de 2007

em próximos trabalhos as leiras com revolvimento (Fase I), sejam umedecidas apenas em conjunto com a operação de revolvimento. No caso das leiras da Fase II (túnel de vento), que não são revolvidas, talvez o aumento do tamanho das leiras ajudasse a manter a umidade das leiras em níveis adequados, e consequentemente a umidade do condicionador de solo. Outro fator que pode ter influenciado, em particular as leiras da Fase II, foi um período de fortes chuvas. O uso de pátios cobertos poderia ter amenizado a provável influência do clima neste caso.

Os outros tópicos NPK, N, pH, relação C/N e matéria orgânica se encontram dentro da normativa para o composto produzido na usina experimental de compostagem, com exceção da relação C/N para os compostos orgânicos obtidos das leiras testemunha, que já era de se esperar devido à escassez de nitrogênio desse tratamento controle. Não houve diferenças significativas nos condicionadores de solo obtidos, em função dos aditivos e tratamentos.

Desta forma, não foi possível concluir qual é o melhor aditivo, pois há variações de acordo com o parâmetro avaliado, mas levando-se em conta o enriquecimento de macro e micro nutrientes, pode-se considerar o seguinte ranking: lodo, esterco, uréia e testemunha. Acredita-se que o método de aeração não influencia neste enriquecimento (os resultados inferiores podem ser consequência de muita chuva, e possível lixiviação dos nutrientes).

O MAPA estabelece que outras propriedades além das apresentadas na legislação vigente também podem ser declaradas nas embalagens dos condicionadores de solo, desde que possam ser medidas quantitativamente, sejam indicados os respectivos métodos de determinação, garantidas as quantidades declaradas e seja comprovada sua eficiência agronômica.

Os estabelecimentos que produzem, comercializam, exportam ou importam os condicionadores de solo, são obrigados a se registrarem no MAPA, assim como os condicionadores de solo. Tal registro é concedido com base nas garantias oferecidas pelo registrante, respeitados os limites mínimos estabelecidos, mostrados na Tabela 18. Para comercialização dos condicionadores de solo, é necessário que a embalagem apresente as informações mostradas no Quadro 5.

Os condicionadores de solo das classes C e D somente poderão ser comercializados para consumidores finais, mediante recomendação técnica firmada por engenheiro agrônomo ou engenheiro florestal, respeitada a respectiva área de competência.

O estabelecimento que produz condicionador de solo Classe A fica impedido de usar matérias-primas dos condicionadores Classe D, caso não apresente no requerimento do registro de estabelecimento ou em sua renovação a instalação para armazenamento de

matérias-primas em áreas individualizadas para que não ocorra a mistura ou contaminação destas, sendo cada área identificada de maneira clara. As linhas de produção e embalagem devem ser separadas, ou devem prever a desinfecção das máquinas e equipamentos.

Classe	Informação
A, B, C e D	A indicação da classe da seguinte maneira: CONDICIONADOR DE SOLO CLASSE (indicar a classe) As matérias-primas componentes do produto A umidade máxima em percentual e em peso/peso
D	Cuidados no manuseio: Aplicação somente através de equipamentos mecanizados. Durante o manuseio e aplicação, deverão ser utilizados equipamentos de proteção individual (EPIs). Uso proibido No cultivo de hortaliças em geral e para aplicação em pastagens e capineiras.

Quadro 5 - Informações necessárias no rótulo das embalagens de condicionadores de solo

Fonte: (BRASIL, 2006a)

Além dos cuidados mencionados acima, os condicionadores de solo Classe D, também estão sujeitos aos requisitos mínimos de qualidade de produtos derivados destinados à agricultura da Resolução CONAMA nº 375/2006, de 29 de agosto de 2006, que define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Tal resolução apresenta os limites máximos de concentração de substâncias inorgânicas (Tabela 19); os limites de patógenos e a classificação do lodo de esgoto ou produto derivado de acordo com a concentração e tipo de patógeno (Tabela 20).

A partir desta classificação, a Resolução CONAMA 375/2006 é mais restritiva que a Normativa do MAPA vigente e detalha melhor a utilização dos condicionadores Classe D, os quais são proibidos de serem utilizados em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo. Apenas os enquadrados como tipo A podem ser utilizados para outras culturas, respeitadas várias restrições como unidades de conservação, áreas de preservação permanente, áreas de proteção de mananciais, entre outras.

Tabela 19 - Concentração máxima de substâncias inorgânicas permitida no lodo de esgoto ou produto derivado

Substâncias Inorgânicas	mg/kg (base seca)
Arsênio	41
Bário	1.300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1.500
Cromo	1.000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2.800

Fonte: (Brasil, 2006b)

Tabela 20 - Concentração máxima de patógenos permitida no lodo de esgoto ou produto derivado

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes <103 NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST <i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST
B	Coliformes Termotolerantes < 106 NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST

ST: Sólidos Totais

UFF: Unidade Formadora de Foco

Fonte: (Brasil, 2006b)

NMP: Número Mais Provável

UFP: Unidade Formadora de Placa

Em solos onde for aplicado tal condicionador, as pastagens poderão ser implantadas após um período mínimo de 24 meses da última aplicação e para o cultivo de olerícolas, tubérculos, raízes e demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo bem como cultivos inundáveis, após um período mínimo de 48 meses da última aplicação.

O uso dos condicionadores classe D, tipo B é restrito para cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com a aplicação mecanizada, em sulcos ou covas, seguida de incorporação. A partir de 2011, somente será permitida a aplicação de lodo de

esgoto ou produto derivado tipo A, exceto sejam propostos novos critérios ou limites baseados em estudos de avaliação de risco e dados epidemiológicos nacionais, que demonstrem a segurança do uso do lodo de esgoto tipo B.

Desta forma, o uso de lodos de esgoto nas usinas de compostagem deve ser feito de maneira muito criteriosa, requerendo, assim, estudo prévio para avaliação de mercado consumidor, por conta da restrita aplicação.

4.8 Análise Econômica da Obtenção de Condicionador de Solo na Usina Piloto de Compostagem

Cenbio (2008c) usou três metodologias para a análise econômica: valoração do composto orgânico, comparação com fertilizantes minerais e análise dos custos de implantação de uma usina de compostagem de resíduos de poda urbana. Iniciou os trabalhos com uma pesquisa de mercado realizada com quatro empresas que produzem e comercializam condicionadores de solo, obtidos por compostagem de diversos substratos como pode ser visto na Tabela 21.

Tabela 21 - Preços de mercado de condicionadores de solo

Fabricante	Produto	Características	Preço
Valoriza Uberlândia / MG ^a	Não há nome comercial	Substrato de serragem de pinus e esterco de aves	R\$160,00 / t (a granel)
Pluma Visafértil – Mogi-Mirim / SP ^b	Adubo Orgânico Visafértil	Compostagem de esterco de ave, farelo de milho, casca de eucalipto, cinza (forte odor)	R\$ 86,00 / t (a granel) e \$ 180,00 / t (embalado)*
Ecosolo Piracicaba / SP ^c	ECOSOLO	Compostagem de resíduos de lodo de ETE (indústria de alimentos), casca de árvores, resíduos de alimentos	R\$ 75,00 /t (a granel)
Adubare Veranópolis / RS	Não há nome comercial	Resíduos de fruta compostados	R\$ 18,00 m ³

Preços Janeiro 2011: R\$105,00 (a granel) e R\$200 (embalado)

Fonte: Cenbio (2008c)

4.8.1 Valoração do Composto Orgânico

Para a valoração do composto orgânico foi utilizado o método de valoração sugerido por Kiehl (1998) e usado por Azevedo (2000) que contemplam os nutrientes NPK e Matéria Orgânica (MO), os quais são valorados em relação ao valor comercial de insumos agrícolas industriais. O Nitrogênio (N) é relacionado à uréia, o Fósforo (P) ao Superfosfato Simples e o Potássio (K) ao Cloreto de Potássio, sendo a MO valorada recebendo 50% do valor atribuído ao NPK do composto. A Tabela 22 apresenta os resultados médios das valorações por tipo de composto orgânico produzido. Nota-se, que os resultados obtidos com as valorações dos condicionadores de solo produzidos na usina experimental de compostagem, são condizentes com os valores de mercado e, portanto poderiam ser comercializados.

Tabela 22 - Valoração média dos compostos orgânicos por tipo

Tratamentos	Valor (R\$ / t de composto)
T	R\$ 140,62
U	R\$ 191,18
E	R\$ 202,95
L	R\$ 219,16

Fonte: Cenbio (2008c)

4.8.2 Comparação entre Condicionador de Solo e Fertilizante Mineral

A Tabela 23 apresenta as formulações dos fertilizantes minerais mais comercializados (4-14-8), (10-10-10) e (4-20-20), bem como a % em peso de NPK, e a quantidade de NPK disponível em uma tonelada do fertilizante mineral e o preço médio de mercado.

Tabela 23 - Formulações e preços dos fertilizantes minerais mais comercializados

Fertilizante Mineral (Formulação em %)	NPK (% peso)	NPK (kg / t de fertilizante mineral)	Preço médio (R\$) *
4 – 14 – 8	26	260	R\$ 1.134,00
10 - 10 – 10	30	300	R\$ 1.168,00
4 – 20 – 20	44	440	R\$ 1.736,00

* preços médios de março de 2008

Fonte: Cenbio (2008c)

A Tabela 24 apresenta a quantidade de condicionador de solo produzido necessária para fornecer a mesma quantidade de NPK que uma tonelada de fertilizante mineral nas formulações (4-14-8), (10-10-10) e (4-20-20). Também apresenta o resultado da valoração da tonelada de cada condicionador de solo e o custo estimado de utilização destes, disponibilizando ao solo a mesma quantidade de NPK que uma tonelada do fertilizante mineral. Para estes cálculos foram utilizadas as concentrações de NPK estimadas no item 4.8.1.

Cenbio (2008c) conclui que o custo médio de se utilizar composto orgânico é de R\$ 1.397,63, representando em média 23,3% a mais do que o uso de fertilizantes minerais (4-14-8) que forneceriam a mesma quantidade de NPK ao solo, R\$ 1.637,42 (40,2%) para os fertilizantes minerais (10-10-10) e R\$ 2.354,41, (35,6%) a mais do que o uso de fertilizantes minerais (4-20-20).

No entanto, de acordo com Kiehl (1998), o fertilizante orgânico é constituído por macronutrientes (Cálcio, Magnésio e Enxofre), por micronutrientes (Zinco, Ferro, Cobre, Manganês, Molibdênio, Boro e Cloro) e alto teor de matéria orgânica. Portanto, boa parte destes componentes é retida por absorção pelo húmus ou sequestrados pelos quelatos. Por esse motivo, não são facilmente lavados pela água da chuva que atravessa o perfil do solo arrastando os nutrientes para fora da zona das raízes.

Assim, Kiehl (1998) afirma que a adubação com composto orgânico provê ao solo propriedades e características que nenhum fertilizante mineral proporcionaria, pois não contém matéria orgânica. Assim, mesmo que o composto orgânico seja mais caro, seria mais interessante usar um condicionador de solo que além de oferecer o NPK para as plantas, nutriria o solo com os macro e micronutrientes, além da matéria orgânica, viabilizando o consumo dos condicionadores de solo produzidos em usinas de compostagem.

Tabela 24 - Custo estimado de utilização de condicionador de solo para disponibilizar ao solo o mesmo conteúdo de NPK que 1 t dos fertilizantes minerais 4-14-8, 10-10-10 e 4-20-20.

	Fase	Condicionador	Quantidade (t de condicionador)	NPK	Custo (R\$ / t de condicionador)	Custo total estimado (R\$)
4-14-8	I	T	10	261 ± 7,6	R\$ 129,24	R\$ 1.292,40
		U	7	269 ± 69	R\$ 186,80	R\$ 1.307,60
		E	6	267 ± 57,5	R\$ 235,61	R\$ 1.413,66
		L	7	272 ± 46	R\$ 208,37	R\$ 1.458,59
	II	T	9	267 ± 73,9	R\$ 152,00	R\$ 1.368,00
		U	7	273 ± 32,8	R\$ 195,56	R\$ 1.368,92
		E	8	265 ± 43,4	R\$ 170,28	R\$ 1.362,24
		L	7	296 ± 25,7	R\$ 229,95	R\$ 1.609,65
Média					R\$ 1.397,63	
10-10-10	I	T	13	339 ± 9,9	R\$ 129,24	R\$ 1.680,12
		U	8	307 ± 78,8	R\$ 186,80	R\$ 1.494,40
		E	7	311 ± 67	R\$ 235,61	R\$ 1.649,27
		L	8	310 ± 52,5	R\$ 208,37	R\$ 1.666,96
	II	T	11	326 ± 90,4	R\$ 152,00	R\$ 1.672,00
		U	8	312 ± 37,4	R\$ 195,56	R\$ 1.564,48
		E	9	298 ± 48,8	R\$ 170,28	R\$ 1.532,52
		L	8	338 ± 29,4	R\$ 229,95	R\$ 1.839,60
Média					R\$ 1.637,42	
4-20-20	I	T	17	444 ± 12,9	R\$ 129,24	R\$ 2.197,08
		U	12	461 ± 11,8	R\$ 186,80	R\$ 2.241,60
		E	10	444 ± 95,9	R\$ 235,61	R\$ 2.356,10
		L	12	466 ± 78,08	R\$ 208,37	R\$ 2.500,44
	II	T	15	445 ± 123	R\$ 152,00	R\$ 2.280,00
		U	12	468 ± 56,1	R\$ 195,56	R\$ 2.346,72
		E	14	464 ± 75,9	R\$ 170,28	R\$ 2.383,92
		L	11	465 ± 40,4	R\$ 229,95	R\$ 2.529,45
Média					R\$ 2.354,41	

Fonte: Cenbio (2008c)

4.8.3 Análise Econômica da Implantação da Usina de Compostagem

Cenbio (2008c) efetuou a análise econômica da implantação da usina de compostagem com capacidade de produção de 78 toneladas de condicionador de solo por batelada. Foram analisadas as duas tecnologias testadas no projeto piloto (reviramento manual e aeração forçada por meio de túneis de vento), bem como as leiras testemunha e os três tipos de aditivos propostos, sendo consideradas duas situações: (a) com o subsídio da AES Eletropaulo em relação à aquisição do triturador e a sua manutenção e (b) sem este subsídio.

A análise foi feita levando em conta os custos da implantação e manutenção até a embalagem do composto final, sendo considerados o tempo de seis meses para o pátio com revolvimento manual e cinco meses para o pátio com leiras utilizando túneis de vento. A análise foi dividida entre investimento inicial (triturador, bomba para captação e reuso do chorume, obras civis para a construção de pátio cimentado, material para as estruturas das leiras e túneis de vento, pás, enxadas, peneiras e equipe para a montagem) e operação e manutenção (abastecimento de água, EPIs, mão de obra, aditivos, combustível para o triturador, embalagens, análises laboratoriais).

O Gráfico 16 mostra o panorama geral dos 16 cenários, diante da distinção entre os custos iniciais e operacionais com relação à implantação da usina de compostagem, a partir de cada tratamento e sem ou com subsídio. A partir dos cenários obtidos é possível verificar que os subsídios da AES se tornam extremamente positivos para redução de custos, revelando uma economia de quase 36% nos casos de metodologia com leiras de revolvimento manual e aproximadamente 40% nos casos da metodologia com o túnel de vento.

Tal fato pode ser explicado se observado o custo do triturador de material de poda, que chega a representar quase 43% do orçamento para investimento inicial. Além disso, é possível distinguir os gastos entre investimento inicial e custo de manutenção, observando que o custo de investimento inicial é maior do que o custo para manutenção.

Gráfico 16 - Proporção entre custos iniciais e custos operacionais

Fonte: (Cenbio, 2008c)

A manutenção dos pátios com revolvimento manual tem um custo muito maior, principalmente devido à demanda de mão de obra e tempo para maturação do composto final. O Gráfico 17 indica a relação de custo total para a produção do composto final, no qual é verificado que os custos utilizando a metodologia dos túneis de vento são menores. A metodologia que utiliza os túneis de vento pode ser considerada mais competitiva para o preço final do composto, pois apesar de ter um gasto extra com materiais para a confecção do túnel, este valor não se mostra significativo quando comparado com a quantidade de mão de obra e tempo de maturação dos casos que utilizam revolvimento manual das leiras.

Cenbio (2008c) concluiu que não há diferença significativa entre os custos com relação aos tratamentos adotados, ou seja, não importa qual seja o tratamento o custo será aproximadamente igual. O tratamento mais oneroso é o que utiliza esterco, seguido do lodo de ETE desidratado e depois de uréia. Na prática, a utilização do lodo requer análises da matéria-prima que não foram aqui computadas, além disso, este tipo de tratamento ainda tem a desvantagem competitiva no mercado de venda, por conta da Resolução CONAMA nº 375/2006, que restringe sua utilização em certos cultivos e áreas.

Gráfico 17 - Comparação de custos para produção do composto final

Fonte: Cenbio, 2008c

A partir dos dados relacionados referentes aos custos de manutenção, descontando o investimento inicial, obteve-se o valor de produção por tonelada de cada composto final nos diferentes tratamentos e na ausência ou presença de subsídios, conforme Tabela 25.

Tabela 25 - Valor de produção do composto por tratamento (R\$ / t)

tratamento	Pátio 1 – Revolvimento Manual	
	Com Subsídio AES	Sem Subsídio AES
T	R\$ 694,96	R\$ 885,59
U	R\$ 721,76	R\$ 912,38
E	R\$ 768,15	R\$ 958,77
L	R\$ 741,90	R\$ 932,53
tratamento	Pátio 2 - Túnel de vento	
	Com Subsídio AES	Sem Subsídio AES
T	R\$ 377,63	R\$ 580,76
U	R\$ 404,24	R\$ 607,36
E	R\$ 448,17	R\$ 651,30
L	R\$ 425,78	R\$ 628,90

Fonte: Cenbio, 2008c

No entanto, há de se esclarecer que um dos principais quesitos para o encarecimento da produção está relacionado com a demanda de mão de obra, que por vezes chega a representar quase 90% do custo de manutenção no pátio com revolvimento manual de leiras, e cerca de 70% nos casos com utilização de túneis de vento.

Para os funcionários, calculou-se o valor de um salário mínimo mais os encargos, ou seja, projetou-se a participação em período integral para manutenção das leiras, porém sabe-se que não é necessário um acompanhamento tão direto deste processo.

No período de manutenção, a demanda por trabalho fica restrita ao revolvimento das leiras, quando necessário, e umedecimento das mesmas. Assim, caso haja interesse de prefeituras e outros setores, poderia haver um remanejamento temporário do quadro de funcionários para atender às demandas desse processo, aumentando a viabilidade da produção de composto, pois o preço da tonelada nestas condições seria R\$ 138,77 para a leira testemunha.

Com relação ao investimento inicial, já foi mencionada a elevada porcentagem de participação nos custos do triturador de resíduos de poda; porém, além disso, pode-se observar a participação da construção do pátio de concreto, que eleva o preço de acordo com o aumento da área demandada.

Esta variável foi inclusa por conta da responsabilidade ambiental, pois apesar de não existirem muitos estudos sobre a deposição direta no solo do chorume proveniente de processos de compostagem de resíduos de poda, sabe-se que chorume derivado de tratamento de lixo urbano pode impactar o meio ambiente e poluir lençóis freáticos. Todavia, na realização da pesquisa de mercado sobre os fertilizantes orgânicos comerciais, observou-se que praticamente nenhum produtor utiliza pátio concretado, o que também pode estar aliado ao preço competitivo de venda por eles utilizado.

Deve-se ressaltar que todos os preços relacionados na Tabela 21 da pesquisa de mercado estão computados sem o valor do frete, e que pela distância existente da região metropolitana de São Paulo com essas empresas, estes valores certamente aumentariam.

Outra variável que poderia tornar o produto mais competitivo e que foi observado nas outras empresas com a pesquisa de mercado, foi o uso do sistema contínuo de produção, ou seja, eram utilizadas várias leiras em diferentes estágios de maturação, fazendo com que houvesse uma saída contínua de produto. No caso desta análise econômica considerou-se um processo descontínuo para produção do composto final, com tempos de 6 meses para pátio com revolvimento manual das leiras e 5 meses para leiras com túneis de vento.

Além disso, há maneiras que possibilitariam a aceleração da maturação do composto, como por exemplo, a utilização do próprio chorume, que faz com que aumentem as taxas de presença microbiana, acelerando a degradação dos materiais e outras práticas, como aumento de algumas partes nitrogenadas, ou mesmo utilização de ácidos e enzimas, que não fizeram parte do escopo deste projeto, mas que ficaria a critério do produtor sua utilização.

Outro fator que aumenta a competitividade do produto final é a possibilidade de vender o material que não foi completamente compostado (chamado de cavaco), que podem servir para melhorar a drenagem do solo, incorporação de matéria orgânica, manutenção da umidade e aeração.

Sabe-se que após a operação de peneiramento do composto orgânico, restam aproximadamente 39% de material com decomposição incompleta. Assim, diante da projeção de utilização de 78 toneladas de resíduos de poda, são esperadas cerca de 30 toneladas de material com decomposição incompleta. Diante da pesquisa de mercado efetuada em março de 2008 e mostrada na Tabela 21, é possível comparar esse cavaco produzido com o preço de um material similar como cascas de pinus compostadas.

Também, a melhoria do rendimento do processo de compostagem (vide Tabela 15), forneceria um melhor retorno do investimento.

4.9. Considerações finais do estudo de caso

Este projeto permitiu que fossem estudadas e avaliadas todas as ações referentes à instalação de uma usina experimental de compostagem (seleção do local, cálculo da área do pátio de compostagem e da quantidade de resíduos de poda e aditivos, compra de equipamentos e matérias-primas e a montagem das leiras), bem como a operação (revolvimento, umedecimento e peneiramento das leiras) e monitoramento (temperatura, pH, umidade, relação Carbono/Nitrogênio, teor de macronutrientes e micronutrientes, Carbono Orgânico, entre outros).

Pode-se concluir que o método de aeração estático é mais rápido do que as leiras revolvidas, e requerem menos mão de obra. Três diferentes tipos de fontes de Nitrogênio, foram testados: uréia, esterco e lodo, além das leiras testemunhas montadas apenas com resíduos de poda urbana. Desta maneira, o processo de compostagem dos resíduos de poda urbana produziu dois tipos de condicionadores de solo, Classe A (testemunha, uréia e esterco) e Classe D (lodo).

Os parâmetros de garantia mínima vigentes para pH, relação C/N, Umidade Total e teor de Carbono Orgânico, de Nitrogênio e de NPK foram checados para todos os tipos de condicionadores de solo produzidos, com exceção da Capacidade de Retenção de Água e a Capacidade de Troca Catiônica do condicionador de solo Classe D, não analisados pelo

laboratório contratado, por falta de metodologia padronizada e material para análise, respectivamente.

Os resultados das análises dos condicionadores de solo produzidos mostram que todos os parâmetros estão de acordo com as especificações de garantia mínima, com exceção da umidade total dos condicionadores de solo Classe A e a relação C/N para os condicionadores de solo obtidos das leiras testemunha.

Desta maneira, conclui-se que o controle da umidade não foi realizado de maneira adequada, utilizando-se mais água do que o necessário. Sugere-se que em próximos trabalhos as leiras com revolvimento (Fase I), sejam umedecidas sempre juntamente com a operação de revolvimento (KIEHL, 1998). No caso das leiras da Fase II (túnel de vento), que não são revolvidas, talvez o aumento do tamanho das leiras, ajudaria a manter a umidade das leiras em níveis adequados.

Salienta-se que mesmo com a umidade durante o processo de compostagem fora dos padrões considerados ótimos, não houve problemas com mau cheiro das leiras e nem a obtenção de condicionador de solo pobre em nutrientes e fora das especificações de garantia mínima, fator que demonstra que um controle mais eficaz da umidade, não ocorrendo a provável lixiviação de nutrientes, o produto final obtido poderia ser ainda mais rico em nutrientes, e portanto de melhor qualidade.

Quanto à relação C/N dos condicionadores de solo obtidos das leiras testemunha, estar inferior ao padrão mínimo, já era de se esperar, pois o resíduo de poda é pobre em Nitrogênio, motivo pelo qual uma fonte de Nitrogênio deve ser usada na montagem da leira para adequar a relação C/N inicial mais favorável entre 25/1 a 35/1.

Estudo da legislação brasileira para o setor de fertilizantes orgânicos evidenciou que as especificações de garantia mínima vigentes devem ser reformuladas, porque não são claras.

Os grandes limitadores do projeto em questão foram o reduzido espaço e a consequente impossibilidade de usar o chorume das leiras para o umedecimento, o que certamente aceleraria o processo de decomposição.

As ações aqui mostradas para a compostagem de resíduos de poda urbana gerados na área de concessão da AES Eletropaulo podem ser replicadas em outros locais com resíduos de poda urbana e as mesmas fontes de Nitrogênio, ou outras, como resíduos de feiras livres, de restaurantes e esterco bovino. Dadas as restrições (impostas pela Resolução CONAMA 375/2006) de utilização dos produtos derivados de lodo de tratamento de esgoto, bem como os cuidados necessários, recomenda-se que especial atenção seja dada a este tipo de fonte de

nitrogênio, caso a escolha seja por este material. Sugere-se que profissional habilitado seja contratado para lidar com este tipo de compostagem.

Por fim, a problemática da destinação dos resíduos de poda gerados na região de estudo, aliada à considerável quantidade de resíduos, com razoável poder calorífico detectado, foram determinantes na motivação para elaboração desta tese, que apresentará no próximo capítulo 6, análise da viabilidade econômica de métodos de geração de energia a partir de resíduos de poda urbana. O próximo capítulo apresenta os aspectos ambientais relacionados à destinação de resíduos de poda urbana.

5 ASPECTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DE PODA URBANA

Os impactos ambientais decorrentes da geração de energia (como de qualquer outra atividade antrópica) podem ser locais, regionais ou globais. Como as próprias denominações já sugerem, o impacto local é causado no lugar onde o empreendimento está situado, como é o caso das emissões atmosféricas de óxidos de enxofre e nitrogênio, material particulado e monóxido de carbono. A poluição regional é aquela cujos impactos podem ser sentidos a muitos quilômetros de distância da fonte geradora, sendo os poluentes arrastados pelos ventos. É o caso das chuvas ácidas decorrentes dos óxidos de enxofre e nitrogênio e a formação de ozônio, a partir dos óxidos de nitrogênio sob ação da luz solar.

Os impactos globais são aqueles em que não importa o local onde a emissão é produzida, o efeito é sentido em todo o planeta. Tratam-se das emissões dos gases de efeito estufa (GEE), que são responsáveis pela intensificação do efeito estufa (que é um fenômeno natural e responsável por manter a temperatura da Terra em condições adequadas para todas as suas formas de vida), o consequente aquecimento global e todos os seus catastróficos efeitos das mudanças climáticas (seca, desertificação, degelo, aumento do nível do mar, inundações, extinção de espécies - perda de biodiversidade -, epidemias, aumento da quantidade de furacões e das tempestades de areia).

Como mostrado no capítulo 4, os resíduos de poda urbana nos 24 municípios da área de concessão da AES Eletropaulo têm sete destinações diferentes: disposição direta no solo (em regiões de mata); disposição em aterros sanitários; disposição em lixões; compostagem; queima a céu aberto; reutilização e aproveitamento energético. Ressalta-se que os resíduos de poda urbana coletados pela AES Eletropaulo ou por empresas contratadas sempre são destinados a aterros sanitários ou para aproveitamento energético.

Assim, a primeira parte deste capítulo faz uma análise qualitativa dos aspectos ambientais dos resíduos de poda urbana na várias situações de disposição e destinação encontradas na área do estudo de caso, sendo que o aproveitamento energético é discutido em relação à manufatura dos combustíveis sólidos para caldeiras a partir do manuseio dos resíduos de poda urbana.

Os impactos ambientais provenientes das tecnologias de aproveitamento energético dos resíduos de poda urbana selecionadas para a avaliação econômica do capítulo 6 são discutidos na segunda parte deste capítulo, o qual também contém uma revisão comentada da

legislação em vigor para os limites máximos de emissão de poluentes provenientes de processos que envolvem a produção de energia a partir de biomassa constituída de madeira.

Por fim, o capítulo é concluído com comentários a respeito dos diversos impactos aqui apresentados.

5.1 Aspectos Ambientais da dos Resíduos de Poda Urbana na Área de Estudo

5.1.1 Disposição Direta no Solo, Queima a Céu Aberto, Reutilização

Como informado no capítulo 4, a quantidade de resíduos de poda urbana que têm como destinação a disposição direta no solo, a queima a céu aberto e a reutilização (confeção de pequenos objetos de madeira e mobiliário urbano) é desprezível quando comparada às outras destinações. Portanto os impactos ambientais para estas modalidades de destinação serão abordadas de forma concisa.

A reutilização ocorre nos centros de triagem ou em cooperativas de artesanato, e não constituem atividades poluidoras e passíveis de licenciamento, portanto podem ser consideradas de impacto ambiental nulo.

Em regiões de mata como algumas áreas das Unidades Oeste e ABC, os resíduos de poda das árvores não são coletados, muitos ficam presos nos galhos mais baixos das árvores e outros caem diretamente no solo. Esta disposição final de resíduos de poda diretamente no solo em regiões de mata não caracteriza problema ambiental, pois tais resíduos são absorvidos de forma natural pelo ambiente. É claro que a disposição dos resíduos *in natura*, isto é, sem prévia trituração, dificulta a absorção pelo solo, tornando o processo mais demorado.

A queima a céu aberto também ocorre nos lixões, como forma de diminuir a área ocupada e tentar resolver o problema de disposição. Porém, esta prática de combustão sem nenhum tipo de controle pode ocasionar uma série de impactos negativos tanto à saúde pública, quanto ao meio ambiente. Em relação à saúde pública, há a liberação de gases que interferem diretamente na qualidade do ar como os que serão apresentados no item 5.2.1 além de outros, que podem conter elementos tóxicos e carcinogênicos provenientes dos contaminantes aos quais os resíduos de poda urbana são expostos nos lixões. Também ocorre

a diminuição da visibilidade atmosférica e alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos.

As duas práticas são proibidas pela Lei Federal 12.305, de 2 de agosto de 2010, a PNRS conforme Capítulo VI. Art. 47, estando os infratores sujeitos às sanções previstas em lei, especialmente às fixadas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que “dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências”, bem como em seu regulamento, o Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008.

5.1.2 Disposição em Aterros Sanitários

Os resíduos de poda urbana constituem material muito volumoso que, quando dispostos em aterros, provocam uma redução de seus espaços que, na maioria dos grandes centros urbanos se encontram saturados (ou em vias de saturação), sendo necessários locais sucessivos para a implantação de novos aterros, o que constitui um problema, pois há escassez de áreas adequadas em função das exigências geológicas e hidrogeológicas, bem como do crescimento urbano.

Muitas cidades já exportam seus resíduos para municípios vizinhos. De acordo com Bolognesi (2010) na Baixada Santista, Praia Grande e São Vicente estão enviando os RSU para o aterro Lara em Mauá. No litoral norte, São Sebastião, Ilha Bela e Ubatuba enviam os RSU para o aterro Onix Sasa em Tremembé. Caraguatatuba para o aterro Santa Isabel Anaconda no município de Santa Isabel. Desde o fechamento dos aterros Bandeirantes e São João, o município de São Paulo “exporta” seu lixo para Caieiras e Guarulhos. A crítica situação dos municípios das principais regiões metropolitanas do estado de São Paulo pode ser verificada no Quadro 6.

A localização dos aterros, cada vez mais distantes dos centros urbanos, além de majorar os custos com a disposição dos resíduos por conta dos elevados honorários de transporte envolvidos, aumenta a emissão de poluentes e gases de efeito estufa. Alves (2007) informa que três por cento das emissões de gases de efeito estufa são provenientes do lixo.

Região	Geração de RSU	Distância média de transporte aos aterros	Principais aterros
Campinas	1.500 t/dia	30 km	Centro de Gerenciamento de Resíduos (CGR) de Paulínia
Baixada Santista	1.000 t/dia	80 km	Sítio das Neves (Santos)
São Paulo	18.000 t/dia	45 km	CTR Pedreira (Guarulhos), Essencis (Caieiras), Lara (Mauá) e Pajoan (Itaquaquecetuba)

Quadro 6 - Panorama da disposição de RSU nas principais regiões metropolitanas do estado de São Paulo.

Fonte: (Bolognesi, 2010)

Também, ocorre a depreciação imobiliária para os imóveis vizinhos à área dos aterros, pelos incômodos causados pelo intenso movimento dos caminhões que transportam o lixo, por ruídos, odor, ar contaminado, impacto na paisagem, poluição visual e do solo pelo espalhamento ou derrame de papéis e plásticos.

Quando os resíduos de poda são depositados nos aterros, misturam-se com outros materiais orgânicos provenientes dos resíduos sólidos também aterrados, que interagem como num reator químico causando impactos sobre a qualidade do ar, do solo e da água.

Os impactos sobre a qualidade do ar são consequência do biogás produzido pela decomposição anaeróbia de compostos de carbono degradáveis presentes na matéria orgânica depositada nos aterros, na qual se incluem os resíduos de poda de árvores urbana que acabam aumentando a produção destes gases. O biogás (também chamado de gás de aterro) é constituído principalmente por dióxido de carbono e metano e até 1% em volume de mercaptanas, aminas, amônia e sulfeto de hidrogênio. Por ser altamente combustível, o biogás necessita ser continuamente drenado para evitar explosões nesses locais (GARCILASSO, VELÁZQUEZ, COELHO, 2010).

O metano tem potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o do dióxido de carbono, o principal contribuinte para o aquecimento global por efeito estufa (IPCC, 2007). Nos aterros, as emissões de dióxido de carbono podem ser negligenciadas, uma vez que estão relacionadas à degradação de matéria orgânica e possuem balanço de carbono nulo. Os outros gases são responsáveis por impactos perigosos à saúde e pelos odores incômodos, que também são consequência dos gases liberados dos resíduos durante a descarga dos caminhões, a arrumação e a compactação do lixo, por processos de putrefação nas camadas superiores do resíduo e do ar efluente dos dispositivos de desodorização do gás de aterro.

A água, introduzida nos aterros nos próprios resíduos e por precipitação, contribui de forma essencial para a evolução dos processos de degradação nos aterros. Portanto, os altos teores de matéria orgânica depositada nos aterros, que de acordo com SMA (2005) são superiores a 50%, e contam com a contribuição dos resíduos de poda urbana aterrados favorecem a formação de metano. Também, o clima do Brasil fornece o outro ingrediente necessário para a degradação da matéria orgânica presente nos aterros, o calor.

No Brasil, o biogás proveniente de aterros é foco de 38 projetos¹⁶ implementados ou em fase de desenvolvimento e implementação, inseridos na modalidade de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto. Tais projetos têm potencial de gerar créditos de carbono comercializáveis, pela queima do biogás de duas maneiras: (i) em *flares*, que transformam o metano em dióxido de carbono, diminuindo o potencial estufa (26 projetos)¹⁴ e (ii) em motores ou caldeiras para geração de energia térmica ou elétrica, que além de converterem metano em CO₂, também substituem o uso de combustível fóssil¹⁷ (12 projetos)¹⁴. Ressalta-se que o uso do biogás fica limitado às frações passíveis de serem coletadas, pois nem todos os aterros foram constituídos com os drenos para coleta, e mesmo os aterros preparados não conseguem coletar todo o metano produzido.

A maior parte dos aterros brasileiros usa sistema de drenos abertos, nos quais a chama é mantida acesa para queima imediata do biogás que vai sendo naturalmente drenado. Esse sistema apresenta uma baixa eficiência, sendo que apenas cerca de 20% do biogás drenado é efetivamente destruído pela queima. O restante é simplesmente emitido para a atmosfera (GARCILASSO, VELÁZQUEZ, COELHO, 2010).

Os lixiviados representam ainda outro desafio. De acordo com SMA (2005), à medida que a água da chuva penetra no aterro é produzido lixiviado contaminado (também conhecido por chorume) que pode conter altas concentrações de hidrocarbonetos clorados, sais, metais pesados e íons amônio, criando riscos de contágio para o solo e águas superficiais e subterrâneas. O lixiviado deve ser coletado e tratado em estações apropriadas para tratamento de esgotos. Também há metodologias aprovadas como MDL para o aproveitamento deste lixiviado e a geração de créditos de carbono, como ocorre no Aterro Resicontrol do município de Tremembé, no qual o biogás é coletado e usado como fonte energética para evaporar o chorume, cuja parte sólida é depois depositada no próprio aterro¹⁸.

¹⁶ Disponível em <http://cdmpipeline.org/publications/CDMpipeline.xlsx>. Acesso em 3 fev 2011.

¹⁷ Mais detalhes sobre estas e outras metodologias referentes a biogás de aterro podem ser obtidos no site do IPCC (www.ipcc.int)

¹⁸ Disponível em <http://www.resicontrol.com.br/>. Acesso em 3 fev 2011

Mesmo nos aterros, pode ocorrer aparecimento expressivo de animais como insetos, ratos e pássaros, especialmente em regiões tropicais e subtropicais, normalmente transmissores de doenças.

Baseados nestes impactos aqui mencionados e da constatação de que o volume de resíduos depositados nos aterros deve ser reduzido em proporções que possibilitem o gerenciamento sustentável destas áreas, a PNRS instituiu que os aterros podem apenas receber rejeitos, que são os resíduos tratados. Sendo assim, a destinação de resíduos de poda urbana (bem como os outros resíduos orgânicos ou inorgânicos passíveis de reciclagem) a aterros passa a ser proibida a partir de 2014.

Desta forma, as práticas de reaproveitamento destes resíduos se tornam necessárias e prioritárias para os municípios e também os estados, pois como é relatado no capítulo 2, o manejo de resíduos sólidos urbanos é considerado serviço de saneamento básico, sob a tutela dos estados, desde que a lei federal nº 11.445 foi sancionada em 5 de janeiro de 2007. Portanto, há pouco tempo para que o poder público se adeque às diretrizes das políticas federais de resíduos sólidos e de saneamento básico.

5.1.3 Disposição em Lixões

A disposição em lixões (a céu aberto e diretamente no solo) é, sem dúvida, entre todas as destinações de resíduos de poda urbana apresentadas e discutidas nesta tese, a que causa os maiores e mais graves impactos ambientais.

A falta de impermeabilização do solo e cobertura do lixo potencializa todos os impactos ambientais negativos que podem decorrer dos aterros: poluição do solo, águas superficiais e subterrâneas, geração de metano (biogás ou gás de aterro), produção de odores indesejáveis e a desvalorização espacial em torno dos locais de disposição, incluindo o comprometimento da área e a afluência turística; além da poluição visual causada pelo acúmulo dos resíduos. Em muitos municípios, os lixões estão localizados em áreas próximas aos centros municipais, podendo ser avistados de vários pontos da cidade, e muitas vezes, até no acesso principal do município, o que causa grande impacto visual.

O lançamento de resíduos diretamente no solo (mesmo os simples resíduos de poda), sem medidas de proteção ambiental ou à saúde pública, facilita a transmissão de doenças, pois quando os resíduos sólidos são dispostos nos lixões podem abrigar ou tornarem-se criadouros de muitos vetores de importância epidemiológica na transmissão de moléstias ao homem que

podem causar até a morte, mostradas no Quadro 7. Além disto, os resíduos servem como fonte de alimento pelo seu alto conteúdo orgânico e energético, oferecendo condições adequadas à proliferação destes vetores.

Vetores	Formas de transmissão	Principais doenças
Ratos	Através da mordida, urina e fezes e da pulga que vive no corpo do rato	Peste bubônica, tifo murino, leptospirose
Moscas	Por via mecânica (através das asas, patas e corpo) e através das fezes e saliva	Febre tifóide, salmonelose, cólera, amebíase, disenteria, giardíase
Mosquitos	Através da picada da fêmea	Malária, leishmaniose, febre amarela, dengue, filariose
Baratas	Por via mecânica (através das asas, patas e corpo) e através das fezes	Febre tifóide, cólera, giardíase
Suínos	Pela ingestão de carne contaminada	Cisticercose, toxoplasmose, teníase, triquinelose, diarréia
Aves	Através das fezes	Toxoplasmose, histoplasmose

Quadro 7 - Principais doenças transmitidas por vetores presentes em lixões

Fonte: (FUNASA, 1999)

O impacto social também é negativo, pois geralmente a população que vive nos arredores dos lixões faz a catação dos materiais recicláveis trabalhando no meio do lixo, sem nenhum tipo de proteção, respirando vapores tóxicos e com a pele em contato direto com o lixo, às vezes até resíduos perigosos ou mesmo radioativos, haja vista o episódio com as cápsulas de Césio 137 em Goiânia, que causou a morte de pessoas inocentes que foram manusear o lixo contido num terreno abandonado.

A PNRS institui que os lixões devem ser eliminados e ter suas áreas recuperadas, sendo que os estados e a União devem estabelecer em seus planos de resíduos sólidos as metas e os mecanismos para tal.

5.1.4 Compostagem

A compostagem deve ser realizada apenas a partir de resíduos sólidos orgânicos. Assim, as usinas de compostagem que processam resíduos sólidos urbanos necessitam da separação prévia de todos os materiais recicláveis e inertes, potencialmente portadores de metais pesados e substâncias tóxicas. Quando o processo de compostagem não é bem praticado, ou seja, sem separação de resíduos inertes, sem aeração e umidade adequadas, e sem o tempo necessário para a degradação da matéria orgânica, o composto produzido se torna de baixa qualidade causando queda no seu preço, o que muitas vezes inviabiliza os custos da sua produção (ACURIO et al., 1997; PINHEIRO, 1993; LUA, 1999).

O mau gerenciamento de usinas de compostagem de resíduos sólidos urbanos sobretudo as situadas nos limites urbanos ainda é motivo de preocupação e de desconfiança por parte da sociedade. Muitas pessoas associam usinas de compostagem ao mau cheiro e à presença de insetos e ratos, haja vista o ocorrido com a Usina de Compostagem da Vila Leopoldina, em São Paulo, que atuava desde 1974 e foi interditada pelo Ministério Público em setembro de 2004 em decorrência de inúmeras reclamações da vizinhança relacionadas a mau cheiro e proliferação de insetos e roedores (BARREIRA, 2005).

Desta forma, são analisados os impactos ambientais decorrentes da operação de usinas de compostagem que processam resíduos orgânicos, especialmente resíduos de poda urbana e algum aditivo rico em nitrogênio (resíduos orgânicos provenientes de feiras livres, restaurantes e centros de abastecimento, esterco entre outros) a fim de balancear a relação C/N. Neste caso, efetuando o monitoramento e controle apropriados do processo com a manutenção das condições adequadas de aeração (que evita a degradação anaeróbia e os problemas de maus odores decorrentes da formação principalmente de metano), com a devida impermeabilização da área de montagem das leiras e instalação de coletores para o chorume (lixiviado) pode-se afirmar que não ocorrerão impactos ambientais e os problemas já discutidos no caso dos aterros e lixões. A logística no recebimento dos resíduos orgânicos, bem como a instalação de um pátio adequado para recepção é muito importante para evitar a putrefação do material antes do início da operação de compostagem.

Um ponto positivo para as usinas de compostagem é o fato de serem passíveis, como os aterros, de projetos de MDL e obtenção de créditos de carbono, pois ao processarem os resíduos orgânicos evitam as emissões de metano decorrentes da disposição destes em aterros ou lixões. No cenário internacional há oitenta projetos de créditos de carbono propostos,

utilizando o método de compostagem para reduzir as emissões de gases para a atmosfera. Quarenta e cinco registrados e ativos e três novos Programas de Atividades (PoAs) na Índia, Indonésia e Colômbia (CDM, 2011).

É possível destacar o maior dos projetos aprovados, em termos de quantidade de carbono equivalente evitado. Trata-se de um complexo de plantas de compostagem na cidade de Dhaka em Bangladesh para tratar 700 toneladas de resíduos orgânicos a fim de evitar cerca de 624.000 toneladas de CO₂ equivalentes em sete anos, podendo ser renovados. Apenas a planta de compostagem de Bulta está operando, com capacidade instalada para tratar 100 toneladas de lixo orgânico por dia em oito células de compostagem (com leiras estáticas com ventilação forçada) e uma grande área de maturação (com aeração natural). Foi construída de abril a novembro de 2008. Até julho de 2010, havia tratado cerca de 24.000 toneladas de resíduos, sendo o total de emissões reduzidas no período de 7.335 toneladas de CO₂. O atraso na construção alterou o período de referência para 25 de Novembro de 2008 a 24 de Novembro de 2015 (CDM, 2010a e 2010b).

No Brasil, são seis projetos MDL relacionados à compostagem, sendo que três não foram validados, um foi retirado e dois estão em processo de validação (CDM, 2011).

5.1.5 Utilização como Matéria-Prima para Combustível (biomassa) de Caldeira

Os resíduos de poda utilizados como biomassa (combustível) para caldeira passam por processamento conforme descrito no item 3.2.1. Cenbio (2007c) relata que nas visitas realizadas a empresas recicladoras não foi constatada nenhuma irregularidade na operação com os resíduos de poda urbana e os outros resíduos de madeira utilizados. Foi verificada grande quantidade de material particulado em suspensão, que ficava confinado nos galpões das empresas e os funcionários utilizavam todos os EPIs necessários.

Impactos podem ser provocados quando da utilização desta biomassa como combustível, o que é apresentado e discutido a seguir.

5.2 Aspectos Ambientais das Tecnologias Seleccionadas de Aproveitamento Energético dos Resíduos de Poda Urbana

5.2.1 Limites de Emissão de Poluentes Atmosféricos Relacionados à Combustão de Biomassa de Madeira

Na identificação e análise dos impactos ambientais decorrentes da geração de energia, todo o ciclo do combustível deve ser considerado, pois parte dos impactos ambientais estão associados à etapa de produção e transporte do recurso energético. Mas, no caso dos resíduos de poda urbana usados como combustíveis, a etapa da produção da biomassa será desconsiderada, bem como o transporte, pois os resíduos já seriam deslocados do seu local de origem até o local de disposição.

Os principais poluentes na geração termoelétrica são a emissão de Monóxido de Carbono, Dióxido de Enxofre, Óxidos de Nitrogênio e Material Particulado. De acordo com Lora (2002), o Monóxido de Carbono (CO) causa problemas de saúde, principalmente doenças respiratórias. Os Óxidos de Enxofre (SO_x) além de afetar a saúde, podem causar chuvas ácidas que afetam a fauna e flora, incluindo dificuldades econômicas devido à redução de colheitas. Os Óxidos de Nitrogênio (NO_x) causam problemas respiratórios, cardiovasculares e renais, impactos na visibilidade e redução do crescimento das plantas. Também são percussores do ozônio atmosférico prejudicial à saúde (asma e bronquite).

Além da poluição local, a queima de qualquer tipo de combustível gera Dióxido de Carbono (CO₂) e N₂O, isto é, emissões dos gases de efeito estufa (GEEs). O CO₂ é o principal GEE responsável pelo aquecimento global e é proveniente do carbono presente na madeira. As UTEs alimentadas por resíduos de poda urbana e biomassa em geral têm a vantagem de apesar de emitirem CO₂, não contribuírem para o efeito estufa, pois o carbono tem balanço nulo, uma vez que a biomassa ao se desenvolver consome CO₂ na fotossíntese. Também não emitem SO_x, um dos grandes problemas de poluição decorrente da utilização de óleo diesel ou BPF (baixo ponto de fusão) na geração termoelétrica. Assim, as UTEs alimentadas por biomassa apresentam como poluentes mais significativos o MP e o NO_x (proveniente do Nitrogênio do ar de combustão).

O MP é controlado na fornalha pela instalação de precipitadores eletrostáticos (ou filtros manga). Para o NO_x há métodos preventivos (como recirculação dos produtos de combustão, combustão por etapas ou queimadores com baixa emissão de NO_x e métodos de controle pós combustão, como injeção não catalítica de amônia.

Em termos de legislação, apenas em 1989, por meio da Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989, o Brasil instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem estar da população pela melhoria e ou não comprometimento da qualidade do ar, a fim de permitir o desenvolvimento socioeconômico brasileiro de forma ambientalmente segura, por meio da limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica (fixas e móveis) (BRASIL, 1989).

Assim, em 1990, foi complementada pela Resolução CONAMA nº 8, de 6 de dezembro de 1990 que estabeleceu limites máximos apenas para de emissão de partículas totais e dióxido de enxofre (SO₂), expressos em peso de poluentes por poder calorífico superior do combustível e densidade colorimétrica para processos de combustão externa¹⁹ de novas fontes fixas de poluição²⁰ que usam como combustíveis carvão mineral e óleo combustível. Os novos empreendimentos foram divididos entre inferiores e superiores a 70 MW e classificados quanto à área em:

- Classe I: áreas de preservação, lazer e turismo, tais como parques nacionais e estaduais, reservas e estações ecológicas, estâncias hidrominerais e hidrotermais. Nestas áreas deve ser mantida a qualidade do ar em nível o mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica.
- Classe II: áreas onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão secundário²¹ de qualidade.
- Classe III: áreas de desenvolvimento onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão primário²² de qualidade (BRASIL, 1990).

¹⁹ processo de queima de derivados da madeira, realizado em qualquer forno ou caldeira, cujos produtos de combustão não entram em contato direto com o material ou produto processado.

²⁰ para as fontes móveis, os limites máximos foram estabelecidos pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), os quais não são interesse desta tese.

²¹ São padrões secundários de qualidade do ar, as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e flora aos materiais e meio ambiente em geral, podendo ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo (BRASIL, 1989).

²² São padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população, podendo ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo (BRASIL, 1989).

Para as fontes fixas alimentadas por biomassa (ou outros combustíveis além do óleo combustível e carvão mineral), os órgãos estaduais de meio ambiente deveriam estabelecer os limites máximos de emissão para Partículas Totais, Dióxido de Enxofre e, se for o caso, outros poluentes, quando do licenciamento ambiental do empreendimento, assim como limites mais restritivos do que os instituídos pela Resolução CONAMA nº 8, de 06/12/1990. Outro ponto desfavorável desta resolução são as unidades dos padrões de emissão estabelecidos em peso de poluentes por poder calorífico superior do combustível, o que dificultava a comparação com padrões internacionais de emissão.

A Resolução CONAMA nº 8, de 06/12/1990 previa uma primeira revisão dos limites máximos de emissão fixados dentro de dois anos e, depois, revisões periódicas a cada cinco anos, quando também poderiam ser, eventualmente, acrescentados outros poluentes gerados nos processos de combustão externa em fontes fixas. Mas, a primeira e única revisão ocorreu apenas dezesseis anos depois com a Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006 (BRASIL, 2006c).

Uma das alterações mais importantes desta resolução foi acrescentar limites máximos de emissão para vários poluentes como: NO_x (referindo-se à soma das concentrações de Monóxido de Nitrogênio (NO) e Dióxido de Nitrogênio (NO_2), sendo expresso como NO_2); compostos orgânicos voláteis, Enxofre reduzido total (ERT), MP, SO_x (referindo-se à soma das concentrações de Dióxido de Enxofre (SO_2) e Trióxido de Enxofre (SO_3), sendo expresso como SO_2), CO, Chumbo (Pb), Fluoreto total e Amônia. Ressalta-se que as fontes fixas foram divididas em treze classes e os combustíveis contemplados foram: óleo combustível, gás natural, bagaço de cana e derivados de madeira. Ainda, as unidades usadas para expressar os limites de emissão, foram substituídas pela conveniente relação entre a massa de um poluente e o volume em que ele está contido em miligramas por normal metro cúbico (mg/Nm^3).

Como fragilidade, esta Resolução não apresenta os limites máximos de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir de combustão externa de carvão mineral. Velázquez (2006) relata que a Câmara Técnica do CONAMA que trabalhou na proposta desta resolução já havia verificado a necessidade de inclusão do carvão mineral, mas esta fonte (extremamente poluidora e impactante na emissão de gases de efeito estufa) permanece com os limites estipulados pela Resolução nº 8 de 6/12/1990 que inclui apenas os poluentes SO_x e MP.

Outro ponto fraco da Resolução nº 382 de 26/12/2006 e também em consonância com a Resolução anterior (nº 8 de 6/12/1990) é que se refere apenas a fontes novas, e assim os equipamentos mais antigos e potencialmente mais poluidores ficam isentos de cumprir as

novas exigências que incluem, limites de emissão de NO_x . Os novos limites e formas de controle devem ser contemplados apenas na renovação da licença de operação sendo que o órgão ambiental licenciador poderá, mediante decisão fundamentada, a seu critério, estabelecer limites de emissão menos restritivos que os estabelecidos nesta Resolução para as fontes fixas de emissões atmosféricas que (i) realizarem a conversão de caldeiras de óleo combustível ou carvão mineral para gás natural ou biomassa, minimizando os impactos ambientais pela substituição da fonte fóssil por outra fonte fóssil menos poluente ou biomassa ou (ii) provarem ter dificuldades devido às limitações tecnológicas.

Desta forma, novos empreendimentos que utilizem resíduos de poda urbana para geração de energia térmica ou elétrica estão condicionados aos limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos estabelecidos no Anexo IV da Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Os limites que foram estipulados somente para MP e NO_x (por razões aqui já apresentadas) são comuns a todos os processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados da madeira²³ para qualquer potência térmica nominal estão apresentados na Tabela 26. A critério do órgão ambiental licenciador, para sistemas com potência de até 10 MW, alternativamente aos limites da Tabela 26 poderá ser aceito o monitoramento periódico de monóxido de carbono com limite máximo de emissão estabelecido na Tabela 27.

Tabela 26 - Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão de derivados da madeira

Potência Térmica Nominal (MW)	MP (mg/Nm^3) ^(a)	NO_x (como NO_2) (mg/Nm^3) ^(a)
Menor que 10 ^(b)	730 ^(c)	Não aplicável
Entre 10 e 30	520	650
Entre 30 e 70	260	650
Maior que 70	130	650

^(a) Expressos em base seca e corrigidos a 8% de oxigênio. Em teste de desempenho de novos equipamentos, o atendimento aos limites estabelecidos deverá ser verificado nas condições de plena carga (em que é utilizada pelo menos 90% da capacidade nominal); e na avaliação periódica, o atendimento aos limites estabelecidos poderá ser verificado em condições típicas de operação, a critério do órgão ambiental licenciador.

^(b) A critério do órgão ambiental licenciador, para estes sistemas, alternativamente a estes limites poderá ser aceito o monitoramento periódico de CO com limite máximo de emissão estabelecido na Tabela 27.

^(c) A critério do órgão ambiental licenciador poderá ser aceito o valor máximo permissível do padrão 1 da Escala de Ringelmann (para avaliação periódica)

Fonte: (Elaboração própria a partir de Brasil, 2006c)

²³ na forma de lenha, cavacos, serragem, pó de lixamento, casca, aglomerado, compensado ou MDF (*Medium Density Fiberboard* ou Painel de Fibras de Média Densidade) e assemelhados, que não tenham sido tratados com produtos halogenados, revestidos com produtos polimerizados, tintas ou outros revestimentos.

Tabela 27 - Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão de derivados da madeira

Potência Térmica Nominal (MW)	CO (mg/Nm ³) ⁽¹⁾
Até 0,05	6.500
Acima de 0,05 e até 0,15	3.250
Acima de 0,15 e até 1,0	1.700
Acima de 1,0 e até 10	1.300

⁽¹⁾ Expressos em base seca e corrigidos a 8% de oxigênio.

Fonte: (Elaboração própria a partir de Brasil, 2006c)

Como o órgão ambiental licenciador pode determinar limites de emissão mais restritivos que os definidos pela Resolução CONAMA nº 382, de 26/12/2006, o estado de São Paulo (local da região de estudo desta tese) instituiu a Resolução SMA 079 de 4 de novembro de 2009 que estabeleceu, conforme Savastano (2010), as diretrizes exigidas no licenciamento, condições operacionais, limites de emissão, critérios de controle e monitoramento (uso da melhor tecnologia disponível) da atividade de tratamento de resíduos em usina de recuperação de energia (URE) em atendimento ao disposto na legislação federal correlata e na legislação de controle à poluição no Estado de São Paulo.

Nesta Resolução, URE é considerada qualquer tipo de unidade dedicada ao tratamento térmico de resíduos com recuperação de energia térmica por combustão (tratamento por oxidação térmica, pirólise, gaseificação, plasma ou outros desde que equivalentes ao tratamento por oxidação) de modo que após a última injeção de ar de combustão, os gases resultantes do processo atinjam, de forma controlada e homogênea, mesmo nas condições menos favoráveis, temperatura mínima de 850 °C (medida próxima da parede interior ou em outro ponto representativo da câmara de combustão) (SÃO PAULO, 2010a).

Os resíduos passíveis de tratamento térmico são resíduos sólidos provenientes do sistema público de limpeza urbana; lodos gerados em estações públicas de tratamento de água e esgotos e os provenientes de sistemas de flotação instalados para despoluição de cursos de água; resíduos de serviços de saúde (observadas as diretrizes da Resolução CONAMA nº 358, de 29/04/2005) e resíduos industriais que em razão de sua natureza, composição ou volume, não sendo perigosos ou radioativos podem ser equiparados aos resíduos domiciliares (como previsto na PNRS, lei nº 12.305 de 02/08/2010).

Esta resolução impõe limites para MP, SO_x, NO_x, Ácido Clorídrico (HCl), Ácido Fluorídrico (HF), Hidrocarbonetos Totais (HCT), CO (que devem ser monitorados

continuamente), substâncias inorgânicas específicas - como Antimônio (Sb), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Tálcio (Tl), Vanádio (V) e seus compostos -, dioxinas e furanos, os quais podem ser vistos nas Tabelas 28 a 31. Também segue o disposto no Decreto Estadual nº 8468/1976 que regulamenta a Lei nº 997/1976 que proíbe a emissão de substâncias odoríferas que possam ser perceptíveis além dos limites do empreendimento. É importante salientar que a primeira verificação do cumprimento aos limites de emissão deverá ser realizada no mínimo na capacidade de plena carga e proceder à expedição da licença de operação (LO).

Tabela 28 - Limites de emissão para poluentes a serem monitorados continuamente

Parâmetro	Limite de Emissão (mg/Nm ³) ^(a)		
	Valor médio diário	Valor médio de 30 minutos	
		97% do tempo	100% do tempo
MP	10	10	30
SO _x (expressos em SO ₂)	50	50	200
NO _x (expressos em NO ₂)	200	200	400
HCl	10	10	600
HF	1	2	4
HCT (expressos como metano e não metano)	10	10	20

^(a) Valores em base seca corrigidos a 11% de O₂

Fonte: (Elaboração própria a partir de São Paulo, 2010a)

Tabela 29 - Limites de emissão para CO a serem monitorados continuamente

Parâmetro	Limite de Emissão (mg/Nm ³) ^(a)
Valor médio diário para o monitoramento contínuo do período de um ano	50
Valor médio de intervalo de 10 minutos para o monitoramento contínuo do período de um dia	150
Valor médio de intervalo de 30 minutos para o monitoramento contínuo do período de um dia	100
Valor médio por hora para o monitoramento contínuo de URE que utiliza tecnologia de leito fluidizado	100

^(a) valores em base seca corrigidos a 11% de O₂

Fonte: (Elaboração própria a partir de São Paulo, 2010a)

Tabela 30 - Limites de emissão para substâncias inorgânicas específicas, valores médios obtidos durante o período de amostragem mínimo de 30 minutos e máximo de 8 horas

Parâmetro	Limite de Emissão (mg/Nm ³) ^(a)
Cádmio (Cd) + Tálho (Tl) e seus compostos	0,05
Mercúrio (Hg) e seus compostos	0,05
Antimônio (Sb), Arsênio (As), Chumbo (Pb), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Vanádio (V) e seus compostos	0,5

^(a) valores em base seca corrigidos a 11% de O₂

Fonte: (Elaboração própria a partir de São Paulo, 2010a)

Tabela 31 - Limites de emissão para dioxinas e furanos, valores médios obtidos durante o período de amostragem mínimo de 30 minutos e máximo de 8 horas

Parâmetro	Limite de Emissão (ng/Nm ³) ^(a)
dioxinas e furanos ^(b)	0,1

^(a) valores em base seca corrigidos a 11% de O₂

^(b) referente à concentração total de dioxinas e furanos calculadas com base no conceito de equivalência tóxica de acordo com o anexo I da Resolução SMA 079 de 14/11/2009

Fonte: (Elaboração própria a partir de São Paulo, 2010a)

Os limites de emissão da Resolução SMA 079 de 24/11/2009 são baseados (e idênticos) aos limites em uso na Comunidade Européia (SÃO PAULO, 2010b), fruto dos trabalhos desenvolvidos no âmbito do Projeto de Cooperação Técnica entre o Estado de São Paulo e o Governo do Estado da Baviera (já descritos no capítulo 3). A Tabela 32 mostra os limites de emissão legais para indústrias e UREs na Alemanha, bem como os usuais para as UREs. É interessante notar que os limites usuais ficam bem abaixo dos limites legais.

O monitoramento nas UREs da Baviera é feito por meio de monitores contínuos e de amostragens em chaminés. Os resultados desses monitoramentos, bem como, dados técnicos das usinas e informações relacionadas a eventuais acidentes nelas ocorridos, são publicados e estão disponíveis na internet, para consulta de qualquer pessoa. Com relação ao controle das emissões atmosféricas, hoje, em toda a Alemanha, há uma clara preferência pelos equipamentos via seca, ou seja, os filtros de tecido, precipitadores eletrostáticos, catalisadores e lavadores secos.

Tabela 32 - Limites de emissão e emissões usuais na Alemanha

Limites	Orgânicos	CO	HCl	HF	SO ₂	NO _x	MP	Dioxinas
	(mg / Nm ³)							(ng / Nm ³)
Legais (indústria)	50	-	30	5	350	350	20	0,1
Legais (URE)	10	50	10	1	50	200	10	0,1
Usuais (URE)	1	10	1	0,1	1,5	150	1	0,005

Fonte: (São Paulo, 2010b)

Vale à pena ressaltar que a Baviera já passou por uma grande polêmica referente à instalação de usinas de recuperação energética (UREs), ocorrida há aproximadamente vinte anos. Tal fato pressionou os órgãos reguladores a reduzirem os limites de emissão de poluentes atmosféricos a valores bem inferiores aos praticados para outras fontes de poluição. Estas restrições forçaram o surgimento de novas tecnologias de controle de poluição do ar e, também, de novas práticas de divulgação e comunicação aos moradores do entorno das UREs, e outros envolvidos, imprimindo transparência ao processo. Sob o prisma da proteção ao meio ambiente e da saúde pública, os aspectos que devem ser observados com maior atenção estão relacionados às emissões atmosféricas provenientes da oxidação térmica (efluentes gasosos) e aos resíduos sólidos (cinzas e escórias). As cinzas provenientes podem ser utilizadas na construção civil, observados os devidos critérios técnicos e ambientais. Alguns dos processos podem gerar efluentes líquidos no tratamento das emissões atmosféricas, antes de seu lançamento ao meio ambiente.

6 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DAS TECNOLOGIAS SELECIONADAS

O principal objetivo desta tese é aproveitar os resíduos de poda urbana para gerar energia elétrica, pois se trata de área de concessão da AES Eletropaulo e dos resíduos gerados dos serviços de poda que a empresa realiza para manter a integridade das redes de distribuição aérea, retirando galhos que atrapalham a fiação elétrica ou mesmo grandes árvores que abalroam as linhas de distribuição por conta de chuvas ou ventanias.

Apesar da obrigação da realização da poda urbana, destinação e disposição final dos resíduos gerados ser das prefeituras municipais, a AES Eletropaulo executa as podas nos trechos sob as redes de distribuição aéreas e redes de subtransmissão, por motivos técnicos e de segurança. Em muitas regiões da sua área de concessão e até em municípios inteiros, é a AES Eletropaulo que precisa pagar pelo serviço de coleta destes resíduos, além de ter de se responsabilizar pela destinação que estas empresas fazem.

Desta forma, se a AES Eletropaulo coletasse o resíduo e o encaminhasse para sua própria empresa de geração de energia elétrica, a situação seria resolvida de maneira mais sustentável e possivelmente com menores custos.

Assim, entre as tecnologias apresentadas no capítulo 3, são avaliadas duas formas de geração de energia elétrica a partir de resíduos de poda urbana: uma pequena central termoelétrica (composta de um ciclo a vapor) e uma planta de digestão anaeróbia que gera biogás, o qual é convertido em energia elétrica por meio de um motogerador (ciclo Otto), além de condicionador de solo produzido em biodigestores, podendo ser chamada de uma planta conjugada (biogás + energia elétrica + composto orgânico) ou também de usina de compostagem energética. A tecnologia de tratamento térmico de resíduos não foi analisada por conta da vazão de resíduos de poda urbana ser insuficiente (de acordo com os dados apresentados no capítulo 3, a mínima vazão é de 600 t/dia).

Desta forma, este capítulo apresenta análise econômica da pequena central termoelétrica e da planta de digestão anaeróbia. Também, para traçar um paralelo desta planta de digestão anaeróbia e de uma de decomposição aeróbia (compostagem tradicional) é apresentada uma análise do custo de produção do composto a partir das duas tecnologias.

Ressalta-se aqui mais uma vez a importância de não desperdiçar os resíduos de poda urbana, pois são valiosos em termos de conteúdo de matéria orgânica e de potencial para geração de energia.

6.1 Proposta de Cenários

A partir da quantificação dos resíduos de poda urbana da área de concessão da AES Eletropaulo apresentada no item 4.3, foram elaborados três cenários, apresentados na Tabela 33. O cenário 1 representa a média anual da quantidade de resíduos quantificados na região de estudo entre os anos de 2006 e 2008. O cenário 2 considera as quantidades do cenário 1 somadas às quantidades informadas pelos municípios da região ABC e Oeste, que efetuam a coleta dos resíduos de poda urbana gerados pela AES Eletropaulo ou pelas empresas por ela contratadas. Para o cenário 3, efetuou-se uma estimativa da quantidade de resíduos de poda urbana gerados nos municípios das regiões ABC e Oeste que não informaram suas quantidades de resíduos de poda urbana. Assim o cenário 3 contempla o cenário 2 acrescido desta estimativa. Desta forma, o cenário 1 pode ser considerado pessimista, o cenário 2, realista e o cenário 3, otimista.

A massa específica utilizada para a obtenção da vazão mássica anual de resíduos de poda urbana é de 150 kg/m^3 (valor obtido em ensaio experimental com a amostra de resíduos de poda urbana do município de Osasco, como mostrado na Tabela 13). Para os cálculos, foram usados 6.000 t/ano, 29.000 t/ano e 40.000 t/ano respectivamente para os cenários 1, 2 e 3.

Tabela 33 - Cenários propostos para a análise econômica

Região	Quantidade de resíduos de poda urbana					
	cenário 1		cenário 2		cenário 3	
	m ³ / ano	t / ano	m ³ / ano	t / ano	m ³ / ano	t / ano
Norte	10.116	1.517	10.116	1.517	10.116	1.517
Sul	7.116	1.067	7.116	1.067	7.116	1.067
Leste	3.336	500	3.336	500	3.336	500
ABC	6.756	1.013	12.847	1.927	32.450	4.868
Oeste	14.244	2.137	160.073	24.011	217.174	32.576
Total	41.568	6.235	193.488	29.023	270.192	40.529

Fonte (Elaboração própria a partir de Cenbio, 2007d)

6.2 Aproveitamento dos Resíduos de Poda Urbana para Geração de Energia Elétrica

6.2.1 Análise Técnica

A Figura 21 apresenta a instalação proposta da central termoeletrica para o aproveitamento energético dos resíduos de poda urbana, que consiste em um ciclo a vapor (Rankine) composto de caldeira, turbina, condensador e bomba.

Figura 21 - Ciclo Rankine da central termoeletrica proposta

O poder calorífico inferior (PCI) em base úmida foi calculado pela Equação 2 (informação pessoal)²⁴ com os dados da Tabela 12.

$$PCI_{b.u.} = PCS_{b.s.} \left(\frac{100 - \%U}{100} \right) - 0,21219 \left[\%H_{b.s.} \left(\frac{100 - \%U}{100} \right) + \frac{\%U}{9} \right] \quad (2)$$

Com a quantidade disponível de resíduos de poda urbana (mostrada no item 6.1), o poder calorífico inferior em base úmida (2.150 kcal/kg) e dados de fabricantes de caldeiras do tipo flamotubular mista (fornalha aquatubular e corpo de evaporação fogotubular) de dois

²⁴ TAMBANI, P. C. Assistente de Pesquisa do IPT. Mensagem recebida por cortez.cristiane@gmail.com em 19 jan 2011

passos, foi selecionada para cada cenário, uma caldeira para geração do vapor. Desta forma, o cenário 1 utiliza uma caldeira com capacidade de produção de 0,9 a 3 t/h, pressão até 25,2 kgf/cm² temperatura até 320 °C. Os cenários 2 e 3 utilizam o mesmo tipo de caldeira com capacidade de produzir 5 a 20 t/h de vapor, com pressão até 42 kgf/cm² e temperatura até 420 °C.

De posse da quantidade e qualidade do vapor produzido na caldeira e de informações de um fabricante de turbinas de condensação, foi escolhida, para cada cenário, uma turbina conveniente. O cenário 1 usa uma turbina a vapor de baixa pressão (6 a 22 bar) e baixa temperatura (de 300 a 320 °C) com potência máxima de 300 kW. Os cenários 2 e 3 utilizam o mesmo tipo de turbina de média pressão (12 a 45 bar) e média temperatura (na faixa de 450 °C) e possui potência máxima de 2.500 kW.

Depois, foram determinados os outros equipamentos necessários como condensador, bomba, triturador, além dos sistemas de ar comprimido, tratamento de água, linhas de vapor e condensado, bem como as obras civis pertinentes. A caldeira é equipada com filtro multiciclone que garante concentração máxima de material particulado no efluente de 260 mg/Nm³. Desta forma, atende ao padrão de emissão de poluentes vigente (Resolução nº 382 de 26/12/2006) mostrada em detalhes no capítulo 5.

A Tabela 34 apresenta as características de operação da central termoeletrica do cenário 1 e a Tabela 35, dos cenários 2 e 3.

Tabela 34 - Parâmetros operacionais do ciclo a vapor do cenário 1

Equipamento	Caldeira	Bomba	Turbina	Condensador
Pressão de entrada (kPa)	2.059	101	1.915	101
Pressão de saída (kPa)	2.059	2.059	101,0	101
Eficiência (%)	84%	24%	85%	-

Fonte: Elaboração própria

Tabela 35 - Parâmetros operacionais do ciclo a vapor dos cenários 2 e 3

Equipamento	Caldeira	Bomba	Turbina	Condensador
Pressão de entrada (MPa)	3.923	101,0	3.648	101
Pressão de saída (MPa)	3.923	3.923	101	101
Eficiência (%)	84%	24%	85%	-

Fonte: Elaboração própria

A partir da quantidade de biomassa disponível, das condições de operação da caldeira, turbina e bomba, inicialmente foram calculadas as entalpias de saída reais para todos os equipamentos, sendo o bombeamento adiabático reversível (bomba isoentálpica), a troca de calor na caldeira a pressão constante (caldeira isobárica), expansão adiabática reversível do vapor na turbina (turbina isoentrópica) e a troca de calor no condensador a pressão constante (condensador isobárico).

Com o rendimento da caldeira, e pela aplicação da 1ª Lei da Termodinâmica, foi obtida a quantidade de vapor gerada. Considerando perda de carga de 7% entre a saída da caldeira e a entrada da turbina, e aplicando a 1ª Lei da Termodinâmica, foi obtida a potência gerada na turbina. Com as eficiências do gerador (94,1%) e do redutor (98%) foi calculada a potência nos bornes do gerador.

Com o fator de capacidade de 0,9 (isto é, o tempo de operação estimado da central termoelétrica é de 7.884 horas anuais) foi calculada a energia gerada.

Também, foi determinado o rendimento termodinâmico do ciclo a vapor, calculando-se a relação entre a potência líquida produzida na turbina a vapor (descontando o consumo da bomba) e o calor fornecido na caldeira pela queima dos resíduos de poda urbana. Este rendimento termodinâmico foi comparado com o máximo rendimento possível, que é dado por $1 - (T_F/T_Q)$, onde T_F e T_Q são respectivamente as temperaturas absolutas das fontes fria e quente.

Os cálculos termodinâmicos completos são apresentados no Apêndice F. A Tabela 36 apresenta os principais resultados.

Tabela 36 - Resultados do estudo termodinâmico do ciclo a vapor para os três cenários propostos

Cenários	Resíduos de poda urbana (t/a)	Potência Instalada (kW)	Energia Elétrica Gerada ^(a) (MWh/a)	Consumo Próprio ^(b) (MWh/a)	Excedente de Energia Elétrica (MWh/a)	Rendimento do Ciclo (%)
cenário 1	6.000	257	2.026	506	1.520	19%
cenário 2	29.000	1.209	9.532	953	8.579	24%
cenário 3	40.000	1.700	13.403	1.340	12.063	24%

^(a) Fator de capacidade: 0,9

^(b) Para o cenário 1: 25% da energia gerada e para os cenários 2 e 3: 10% da energia gerada

Fonte: (Elaboração própria)

6.2.2 Análise Econômica

Os custos dos equipamentos, sistemas, instalação, montagem, transporte, obras civis, mão de obra para o investimento das centrais termoelétricas dos três cenários foram obtidos junto aos fabricantes dos equipamentos e prestadores de serviços e estão detalhados no Apêndice G. A diferença do valor do investimento entre os cenários 2 e 3 é apenas o triturador de resíduos sólidos, uma vez que os equipamentos do ciclo a vapor são os mesmos.

No levantamento dos investimentos iniciais não foram considerados os custos com terreno, licenciamento e projeto de engenharia, porque além de serem comuns a qualquer uma das alternativas, sabe-se que se a própria concessionária for a investidora na central termoelétrica, esta tem várias áreas disponíveis que poderiam ser usadas para a instalação da central, bem como possui equipe própria de engenharia que poderia ficar responsável pelo projeto e pelo licenciamento.

As potências instaladas são inferiores a 5MW e sendo consideradas distâncias menores que 1 km, a tensão para distribuição adequada é de 13,8 kV e deve estar em paralelismo e sincronismo com a concessionária local. Haja vista que a região atendida pela AES Eletropaulo é servida por adequadas redes de tensão de 13,8 kV, e sendo a concessionária a detentora da central termoelétrica, poderá usar as suas próprias redes existentes. Assim, também não foram considerados os custos de investimento com redes de distribuição e transmissão.

A Tabela 37 apresenta os investimentos das centrais termoeletricas dos três cenários, bem como o custo do investimento por potência instalada.

Tabela 37 - Investimentos nas centrais termoeletricas para os três cenários propostos

Cenários	Investimento ^(a) (R\$)	Investimento por potência instalada (R\$ / kW)
cenário 1	R\$ 3.027.800,00	R\$ 11.781,32
cenário 2	R\$ 5.751.600,00	R\$ 4.757,32
cenário 3	R\$ 5.951.600,00	R\$ 3.500,94

^(a) base: janeiro de 2011

Fonte: (Elaboração própria)

De posse dos valores dos investimentos iniciais, foram calculadas as receitas anuais, as despesas anuais e a receita líquida anual para cada cenário.

A receita anual é proveniente da comercialização da energia elétrica gerada excedente. Foi utilizado o valor de R\$170,00 por MWh, baseado no preço mínimo de contratação dos leilões de energia nova de biomassa – valores referentes a abril de 2011 (GORINI, 2011).

As despesas anuais consideradas foram o custo de operação e manutenção e a taxa de depreciação. Foram desconsiderados os custos em relação ao transporte dos resíduos de poda urbana, uma vez que este transporte já é realizado pela empresa prestadora do serviço de coleta da AES Eletropaulo ou da prefeitura, portanto, é um custo que não onera nenhum dos processos apresentados. Também foi considerado custo zero da biomassa.

Para a operação e manutenção, optou-se por considerar um custo fixo de 1,5% do valor do investimento. Atualmente no Brasil, são permitidas taxas máximas anuais de depreciação para máquinas e equipamentos em geral de 10%, sendo que para turnos de 16 horas e 24 horas estas taxas podem ser multiplicadas por 1,5 e 2, respectivamente. De modo conservador, mesmo sabendo que a usina termoeletrica operará 24 horas por dia, foi usado o valor médio de taxa de depreciação de 5%, baseada na vida útil de 20 anos para os equipamentos (mesmo sabendo-se que pode chegar a 25 anos).

Como taxas e impostos, foi considerado o percentual de 34%, incidente sobre a diferença entre as receitas anuais e despesas anuais. Esta alíquota contempla imposto de renda, o imposto para o Programa de Integração Social (PIS), a Contribuição Para o

Financiamento da Seguridade Social (COFINS), Contribuição Social Sobre Lucro Líquido (CSLL) e taxas de fiscalização da ANEEL. Não foram consideradas as tarifas de uso do sistema de distribuição (TUSD) e as tarifas de uso do sistema de transmissão. (TUST), pois as centrais termoeletricas dos três cenários se enquadram na Resolução Normativa ANEEL nº 271 de 3 de julho de 2007, que isenta as tarifas TUSD e as TUST para potências injetadas nos sistemas de transmissão e distribuição inferiores a 30MW.

O Apêndice G apresenta os valores obtidos para as receitas anuais, as despesas anuais e as receitas líquidas anuais para os cenários 1 a 3. Como apresentam receita líquida anual positiva, foi dado prosseguimento na análise econômica, calculando o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), payback simples (PS) e payback descontado (PD) para os três cenários.

Optou-se por realizar os cálculos do VPL e da TIR para um período de amortização de 10 anos, uma vez que de acordo com os programas tradicionais de financiamento do BNDES, o prazo máximo para amortização dos investimentos é de dez anos, com 6 meses de carência após a entrada em operação das instalações de geração de energia. Tal prazo de amortização poderia ser de 12 anos (incluindo o tempo de carência e o período de dois anos de implementação do projeto e início das atividades) a um máximo de 20 a 25 anos (o fluxo de caixa seria projetado para o período da vida útil dos equipamentos).

A análise de viabilidade econômica completa é apresentada no Apêndice G, sendo que os principais resultados estão na Tabela 38. O cenário 1 apresenta VPL negativo, portanto é inviável economicamente. Assim não foi definida a TIR nem o PS e PD.

Tabela 38 - Análise econômica da central termoeletrica

Fluxo de caixa: 10 anos						
Cenários	Taxa de Desconto de 5%		Taxa de Desconto de 10%		TIR	PS
	VPL	PD	VPL	PD		
cenário 1	<0	-	<0	-	-	-
cenário 2	R\$ 1.996.390	7,4 anos	R\$ 413.860	9,3 anos	11,65%	5,7 anos
cenário 3	R\$ 4.825.818	2,9 anos	R\$ 2.624.526	6,9 anos	19,50%	4,3 anos

Fonte: (Elaboração própria)

O VPL (fluxo de caixa de dez anos) é positivo para os cenários 2 e 3, com taxas de desconto de 5% e 10%, sendo aptos financeiramente. Nota-se que quanto maior a quantidade de resíduos de poda urbana usada (maior o porte da central termoeletrica), maior é o VPL e melhor o retorno financeiro com a implantação da central termoeletrica.

A análise da taxa interna de retorno (TIR), mostra que as centrais dos cenários 2 e 3 são atrativas do ponto de vista do investidor, pois são melhores remuneradas do que as taxas de desconto consideradas. Em termos de payback descontado e payback simples, as centrais termoeletricas dos cenários 2 e 3 também são convenientes. Sendo o cenário 3 superior ao 2.

6.3 Aproveitamento dos Resíduos de Poda Urbana por Meio de Digestão Anaeróbia para Obtenção de Composto Orgânico e Energia Elétrica

6.3.1 Análise Técnica

Com a quantidade disponível de resíduos de poda urbana (mostrada no item 6.1) e informações fornecidas pela Kuttner do Brasil, representante da América do Sul da empresa Kompogas, uma das principais empresas de biodigestão anaeróbia do mundo, foi realizada a análise técnica de geração de energia elétrica, da produção de composto orgânico e de líquido fertilizante (subproduto com valor agregado) a partir da decomposição anaeróbia dos resíduos de poda urbana.

As quantidades geradas na planta de digestão anaeróbia de biogás, energia, composto orgânico e líquido fertilizante podem variar de acordo com a composição do resíduo de poda urbano alimentado. Seguindo as recomendações do fabricante, foi considerado que:

- a) O sistema de digestão anaeróbia para a quantidade de resíduos de poda urbana do cenário 1 gera 100 Nm^3 de biogás por tonelada de resíduo de poda urbana alimentada; enquanto os sistemas dos cenários 2 e 3 produzem 125 Nm^3 de biogás para uma tonelada de resíduo de poda urbana alimentada.
- b) Todos os sistemas produzem 500 kg de composto orgânico e 300 kg de líquido fertilizante respectivamente, por tonelada de resíduo de poda urbana alimentado.
- c) O sistema de motogeradores usados para a conversão do biogás em energia elétrica gera 0,232W por Nm^3 de biogás alimentado.

Com o fator de capacidade de 0,9 (isto é o tempo de operação estimado da planta de digestão anaeróbia é de 7.884 horas anuais) foi calculada a energia gerada. A Tabela 39 apresenta um resumo dos cálculos termodinâmicos e de produção de composto orgânico e líquido fertilizante.

Tabela 39 - Resultados do estudo técnico das plantas de digestão anaeróbia para os três cenários propostos

Cenários	Resíduos de poda urbana (t/a)	Geração de biogás ^(a) (Nm ³ /a)	Potência Instalada (kW)	Energia Elétrica (MWh/a)	Consumo Próprio (MWh/a)	Excedente de Energia Elétrica (MWh/a)	Produção de Composto Orgânico (t/a)	Produção de Líquido Fertilizante (t/a)
cenário 1	6.000	600.000	139	1.097	274	823	3.000	1.800
cenário 2	29.000	3.625.000	841	6.630	663	5.967	14.500	8.700
cenário 3	40.000	5.000.000	1160	9.145	915	8.230	20.000	12.000

Fonte: (Elaboração própria a partir de informação pessoal ²⁵)

6.3.2 Análise Econômica

No caso da planta de digestão anaeróbia, os custos de investimento abrangem a instalação completa da planta constituída de área para recebimento e trituração dos resíduos de poda urbana; sistema de biodigestão; sistema de bombeamento e prensagem do substrato; área de pós-compostagem; motogeradores para geração de energia elétrica; biofiltro para tratamento de gases (odores); obra civil, transporte dos equipamentos e montagem da planta. As informações dos custos foram disponibilizadas pela empresa Kuttner do Brasil que fornece instalações de digestão anaeróbia “turn-key”.

Analogamente à análise econômica da implementação da central termoeletrica, no levantamento dos investimentos iniciais não foram considerados os custos com terreno, licenciamento, projeto de engenharia, redes de distribuição e transmissão, pelos mesmos motivos expostos no item 6.2.2.

A Tabela 40 apresenta os investimentos das plantas de digestão anaeróbia dos três cenários, bem como o custo do investimento por potência instalada e por tonelada de composto orgânico produzido. O custo do investimento foi rateado como sendo 50% para a geração de energia elétrica, 25% para produção de composto orgânico e 25% para produção do líquido fertilizante.

²⁵ CARDOSO, R. Mensagem recebida por clcortez@iee.usp.br, em 1 fev 2011

Tabela 40 - Investimentos nas plantas de digestão anaeróbia para os três cenários propostos

Cenários	Investimento (R\$) ^(b)	Investimento por potência instalada (R\$ / kW)	Investimento por produção de composto orgânico (R\$ / t)	Investimento por produção de líquido fertilizante (R\$ / t)
cenário 1	R\$ 11.000.000,00	R\$ 39.511,49	R\$ 916,67	R\$ 1.527,78
cenário 2	R\$ 30.000.000,00	R\$ 17.835,91	R\$ 517,24	R\$ 862,07
cenário 3	R\$ 40.000.000,00	R\$ 17.241,38	R\$ 500,00	R\$ 833,33

^(b) Estimados pelo fabricante. Base: janeiro de 2011.

Fonte: (Elaboração própria a partir de informação pessoal

A planta de digestão anaeróbia para o cenário 1 (com vazão de 6.000 t/a) apresenta investimento e custos de geração de energia elétrica e de produção de composto orgânico e de líquido fertilizante muito elevados. A maior razão se dá pelo fato de ser uma planta em escala piloto (cujo biodigestor é feito de estrutura metálica), o que onera o investimento, uma vez que os biodigestores padrões (usados para os cenários 2 e 3) operam com maiores vazões e são feitos em concreto com cobertura em aço. Assim, o cenário 1 não faz parte da análise econômica, sendo que o investimento é alto e não é economicamente interessante visando retorno de investimento no médio/longo prazo.

De posse dos valores dos investimentos iniciais, foram calculadas as receitas anuais, as despesas anuais e a receita líquida anual.

A receita anual é proveniente da comercialização da energia elétrica excedente e do composto orgânico e líquido fertilizante. Para a energia elétrica foi usado o mesmo valor de R\$170,00 por MWh (GORINI, 2011) utilizado na análise econômica da central termoeletrica. Para o composto orgânico e líquido fertilizante foi usado o valor de R\$150,00 por tonelada (valor médio calculado a partir das informações da Tabela 16).

Pelos motivos explicados no item 6.2.2 foram consideradas como despesas anuais apenas o custo de operação e manutenção e a taxa de depreciação. Foram desconsiderados os custos em relação ao transporte dos resíduos de poda urbana, bem como o custo do combustível (biomassa). Também foi usado o mesmo custo fixo de 1,5% do valor do investimento para a operação e manutenção e 5,0% como taxa de depreciação; além do percentual de 34% para taxas e impostos (não incidindo as tarifas de TUST e TUSD).

O Apêndice H apresenta para os cenários 2 e 3 os valores obtidos para as receitas anuais, as despesas anuais e as receitas líquidas anuais (que são positivas). Assim foi dada

continuidade na análise econômica, calculando o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), payback simples e payback descontado para os cenários 2 e 3.

Para o período de amortização de 10 anos (o mesmo usado na análise econômica da central termoeletrica) e com as taxas de desconto usadas (5% e 10%) os cenários 2 e 3 são economicamente inviáveis, pois possuem VPL negativo. Assim, optou-se por refazer a análise econômica alterando apenas o fluxo de caixa para período de amortização de 20 anos (uma vez que é possível, levando-se em conta a vida útil de 20 anos dos equipamentos).

A análise de viabilidade econômica completa é apresentada no Apêndice H. Os principais resultados estão na Tabela 41. Para 20 anos, o VPL é negativo para os cenários 2 e 3 para a taxa de desconto de 10%. Então, optou-se por analisar a opção de digestão anaeróbia apenas para taxa de desconto de 5% e ao longo de 20 anos. Nota-se que quanto maior a quantidade de resíduos de poda urbana usada, maior é o VPL. A TIR é baixa para os cenários estudados. Em termos de payback descontado, o tempo para repor o capital investido é muito longo.

Tabela 41 - Análise econômica das plantas de digestão anaeróbia para os três cenários propostos

Cenários	20 anos				
	Taxa de Desconto de 5%		Taxa de Desconto de 10%		PS (anos)
	VPL	PD (anos)	VPL	TIR	
cenário 2	R\$ 9.621.079	15,1	< 0	8,75%	9,4
cenário 3	R\$ 14.527.230	14,7	< 0	9,46%	9,1

Fonte: (Elaboração própria)

6.4 Utilização dos Resíduos de Poda como Composto Orgânico

6.4.1 Análise Técnica

A partir das informações técnicas do estudo de caso apresentado no capítulo 4, foi selecionado o método de compostagem de aeração estática (por túneis de vento). Foi considerado que a usina de compostagem necessita 3 toneladas de resíduos de poda urbana para produzir 1 tonelada de composto orgânico.

Assim, com a quantidade disponível de resíduos de poda urbana (mostrada no item 6.1) foi estimada a produção de composto orgânico para cada um dos cenários (Tabela 42).

Tabela 42 - Resultados do estudo técnico das usinas de compostagem para os três cenários propostos

Cenários	Resíduos de poda urbana (t/a)	Produção de Composto Orgânico (t/a)
cenário 1	6.000	2.000
cenário 2	29.000	9.667
cenário 3	40.000	13.333

Fonte: (Elaboração própria)

6.4.2 Análise Econômica

Para a usina de compostagem, os custos de investimento abrangem a instalação completa da planta formada por área para recebimento e trituração dos resíduos de poda urbana; área para a compostagem, sistema de biodigestão; sistema de bombeamento que inclui a captação do chorume e da água de chuva, túneis de vento, triturador, trator, área de pós-compostagem; obra civil, transporte dos equipamentos e montagem da planta. Detalhes podem ser vistos no Apêndice I.

Da mesma forma que nas análises econômicas das outras opções, no levantamento dos investimentos iniciais não foram considerados os custos com terreno, licenciamento, projeto de engenharia, redes de distribuição e transmissão, pelos motivos expostos no item 6.2.2.

A Tabela 43 apresenta os investimentos das usinas de compostagem para os três cenários, bem como o custo do investimento por tonelada de composto orgânico produzido.

Tabela 43 - Investimentos nas usinas de compostagem dos três cenários propostos

Cenários	Investimento ^(a) (R\$)	Investimento por produção de composto orgânico (R\$ / t)
cenário 1	R\$ 935.000,00	R\$ 467,50
cenário 2	R\$ 3.160.000,00	R\$ 326,89
cenário 3	R\$ 4.250.000,00	R\$ 318,76

^(a) Base: janeiro de 2011

Fonte: (Elaboração própria)

De posse dos valores dos investimentos iniciais, foram calculadas as receitas anuais, as despesas anuais e a receita líquida anual para todos os cenários.

A receita anual é proveniente da comercialização do composto orgânico, cujo valor de venda considerado foi o mesmo usado na avaliação econômica da planta de digestão anaeróbia R\$150,00 a tonelada.

As despesas anuais consideradas foram o custo de operação e manutenção e a taxa de depreciação, sendo admitido custo zero para a principal matéria-prima da usina (os resíduos de poda urbana) e desconsiderado o custo do transporte dos resíduos de poda urbana, pois já é realizado pela empresa prestadora do serviço de coleta da AES Eletropaulo ou da prefeitura, não onerando a usina de compostagem (e nem nenhuma das outras opções aqui apresentadas).

Para a operação e manutenção, optou-se por considerar um custo fixo de 20% do valor do investimento. Neste custo estão previstos mão de obra para operação da usina, análises físico-químicas da matéria-prima, de controle do processo e do produto final, EPIs, embalagens, aditivos para o controle da relação C/N, energia elétrica, combustível do triturador e trator e água.

Como taxas e impostos, foi considerado o percentual de 34% aplicado sobre a diferença entre as receitas anuais e despesas anuais. Esta alíquota contempla os impostos descritos no item 6.2.2 além dos pertinentes ao registro da empresa e dos produtos no MAPA.

O Apêndice I apresenta para todos os cenários os valores obtidos para as receitas anuais, as despesas anuais e as receitas líquidas anuais (que são positivas). Assim foi dada continuidade na análise econômica, calculando o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), payback simples e payback descontado para todos os cenários.

A análise de viabilidade econômica completa é apresentada no Apêndice I. Os principais resultados estão na Tabela 44 (fluxo de caixa de 10 anos).

Tabela 44 - Análise econômica da usina de compostagem (fluxo de caixa de 10 anos)

Cenários	10 anos					
	Taxa de Desconto de 5%		Taxa de Desconto de 10%		TIR	PS (anos)
	VPL	PD (anos)	VPL	PD (anos)		
cenário 1	<0	-	<0	-	-	-
cenário 2	R\$ 1.423.622	6,9	487.415	8,7	13,48%	5,3
cenário 3	R\$ 2.168.692	6,6	857.671	8,3	14,52%	5,1

Fonte: (Elaboração própria)

Para o período de amortização de 10 anos (o mesmo usado na análise econômica da central termoeletrica) e também com as taxas de desconto de 5% e 10% o cenário 1 apresenta

VPL negativo e é portanto economicamente inviável nesta situação. Já os cenários 2 e 3 são opções viáveis e praticamente equivalentes, sendo a usina de compostagem do cenário 3 a melhor opção.

Como a análise econômica da planta de digestão anaeróbia para os três cenários é feita para o período de 20 anos de fluxo de caixa, optou-se por também fazer a análise econômica da usina de compostagem para o fluxo de caixa com período de amortização de 20 anos (o que leva em conta a vida útil de 20 anos dos equipamentos) apresentado na Tabela 45.

Tabela 45 - Análise econômica da usina de compostagem (fluxo de caixa de 20 anos)

Cenários	20 anos					
	Taxa de Desconto de 5%		Taxa de Desconto de 10%		TIR	PS (anos)
	VPL	PD (anos)	VPL	PD (anos)		
cenário 1	R\$ 192.518	16,6	<0	-	7,32	10,3
cenário 2	R\$ 4.237.568	8,5	1.893.651	12,5	18,11%	5,3
cenário 3	R\$ 6.109.212	8,2	2.826.900	12,0	18,95%	5,1

Fonte: (Elaboração própria a partir de informação pessoal)

Mesmo com o fluxo de caixa estendido para 20 anos, o VPL do cenário 1 é negativo para a taxa de desconto de 10%, e possui a TIR mais baixa, o que demonstra que é o cenário menos favorável do ponto de vista do investidor. Em termos de payback simples, descontado e TIR, as usinas de compostagem dos cenários 2 e 3 apresentam praticamente os mesmos valores, mostrando que para fluxo de caixa de 20 anos, são opções equivalentes. Se analisadas por meio do VPL, a usina de maior porte (cenário 3) é a melhor.

6.5 Análise dos Resultados

Este capítulo apresenta duas formas de aproveitamento dos resíduos de poda de árvores: geração de energia elétrica e produção de composto orgânico por meio de três tecnologias diferentes: central termoeletrica, planta de digestão anaeróbia e usina de compostagem.

No caso da geração de energia elétrica, as opções estudadas foram a central termoeletrica e a planta de digestão anaeróbia, sendo que a central termoeletrica se mostrou a melhor opção, particularmente a do cenário 3 (de maior porte) que apresentou uma

atratividade interessante de 19,5% (para período de amortização de 10 anos). A central de menor porte, não se mostrou viável economicamente.

Uma vantagem do uso dos resíduos de poda urbana para a geração de energia elétrica seria a geração de energia descentralizada a partir de fonte renovável, com produção contínua, e sem a necessidade de implantação de novas linhas de transmissão e distribuição, pois a geração de energia ocorre próxima ao centro consumidor.

Em relação à produção de composto orgânico, dentre as opções analisadas economicamente (planta de digestão anaeróbia e usina de compostagem), a usina de compostagem apresentou o melhor resultado, pois para período de amortização de 10 anos, a planta de digestão anaeróbia é inviável economicamente para os três cenários. Já a usina de compostagem apresenta atratividade interessante de 14,5 % (para período de amortização de 10 anos) para o cenário 3 e 13,5% (também para período de amortização de 10 anos) para o cenário 2.

Um dos pontos mais importantes no aproveitamento dos resíduos de poda urbana para a compostagem está relacionado ao seu valor agrícola e comercial. Atualmente há empresas que se dedicam à produção comercial deste tipo de produto, realidade que não era observada nos anos 1990. A maioria dos compostos orgânicos era produzida a partir de lixo doméstico por usinas de compostagem de prefeituras municipais, que obtinham produtos de baixa qualidade e com pequeno valor de mercado. Tal fato dificultava a venda dos compostos orgânicos produzidos com qualidade, pois o mercado consumidor queria pagar os baixos preços praticados pelas prefeituras.

Assim, a compostagem dos resíduos de poda urbana, é uma boa alternativa tanto técnica, quanto econômica e ambientalmente, mas tem desvantagem de não gerar energia elétrica, o foco do negócio da “detentora” dos resíduos de poda urbana, do estudo de caso desta tese.

Em relação ao custo não computado da aquisição de terreno, este impactaria em maiores proporções a planta de digestão anaeróbia, pois esta necessita de maior área para ser implantada do que a usina de compostagem e a central termoelétrica.

Também há a possibilidade de outras receitas, que seriam comuns aos três tipos de empreendimentos aqui analisados. É o caso da venda de créditos de carbono, que seriam obtidos pela não geração de metano, uma vez que os resíduos de poda urbana deixariam de ser depositados em aterros, e também o recebimento de taxas de tratamento de RSU de prefeituras. Há ainda a possibilidade do custo evitado da disposição dos resíduos de poda

urbana nos aterros (no caso da investidora ser a concessionária que paga por este serviço, ou até mesmo uma prefeitura municipal).

Aqui também, vale ressaltar que as quantidades estimadas para os cenários foram conservadoras, uma vez que os empreendimentos para aproveitamento de resíduos de poda urbana poderiam receber outros tipos de resíduos de madeira como móveis e caixas, além dos resíduos de poda urbana realizada pelas prefeituras municipais em todas as áreas públicas e também realizadas pela iniciativa privada, como no caso de clubes, escolas, condomínios entre outros.

7 BARREIRAS E PROPOSTAS DE POLÍTICAS

No decorrer do desenvolvimento desta tese, foram observadas barreiras (ambientais, sociais, tecnológicas, políticas, institucionais, entre outras) em relação às formas de aproveitamento de resíduos de poda urbana e as tecnologias envolvidas.

No Brasil, de acordo com EPE (2010), a lenha é a quarta maior fonte de energia primária (10,2%), perdendo apenas para o petróleo (41,9%), produtos da cana (18,8%) e hidroeletricidade (13,9%). Assim é necessário, que uma importante fonte de energia brasileira tenha uma política nacional, que de acordo com Brasil (2005, Art.1º p.1) tem, entre outros objetivos, a finalidade de “incrementar, em bases econômicas, sociais e ambientais, a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional”.

A base legal para a criação de um programa está pautada na Lei nº 9.478 de 6 de agosto de 1997 que criou a Política Energética Nacional, com as alterações introduzidas pela Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005. Esta, ao apresentar nova redação a alguns artigos da Lei 9.478/97 e inserir outros, reconheceu a importância do papel dos biocombustíveis na matriz energética brasileira, deixando evidente, pela própria definição de biocombustível²⁶, que a lei prioriza os biocombustíveis líquidos usados principalmente para transporte.

De qualquer forma, a proposta de uma política nacional para os combustíveis da madeira (dendrocombustíveis) é responsabilidade do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), vinculado à Presidência da República e presidido pelo Ministro de Estado de Minas e Energia (MME). Uma vez decretada, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) teria a responsabilidade da implementação da nova política, e assim estabelecer diretrizes, criar as normas energéticas aplicáveis, bem como fiscalizar o comércio e registro das atividades relacionadas aos biocombustíveis em geral.

O Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) trabalha na elaboração de uma política nacional para os dendrocombustíveis, proposta denominada Programa de Madeira Energética (PME). Em outubro de 2010, o documento foi encaminhado para o MME, e o INEE aguarda o posicionamento oficial deste ministério.

São destaques da PME: (a) a padronização da terminologia usada para a atividade; (b) o estabelecimento do prazo de dois anos para que a ANP institua a especificação das características físico-químicas dos principais biocombustíveis (de maior utilização ou potencial) como madeira *in natura*, carvão vegetal, resíduos agroindustriais e urbanos,

²⁶ Definido como combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna ou, conforme regulamento para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil (BRASIL, 2005 Art.4º p.1).

densificados e bio-óleos; e (c) a solicitação do desenvolvimento de linhas específicas nos fundos setoriais de pesquisa para criação de programas e projetos vinculados ao desenvolvimento científico e tecnológico do setor de madeira energética que visem ao seu estímulo, promoção e divulgação criando condições técnicas para que o Brasil assuma uma liderança internacional frente os países tropicais.

É importante que a PME seja consolidada por iniciativas e sinalizações do governo nos campos regulatório, econômico e fiscal num esforço interministerial que envolva o MME, MMA e MAPA com papéis claros e bem definidos. As ações complementares da PME devem visar ao estabelecimento de metas em longo prazo para reduzir custos de produção da madeira energética plantada e/ou oriundos de resíduos agroindustriais e usados como fonte de energia para uso direto (queima) ou para transformação em formas secundárias tais como o carvão vegetal; criação de normas e padrões sobre as características energéticas das diferentes formas de energia que facilitem a sua comercialização, permitam a comparação com as demais formas de energia, facilitem o comércio e o desenvolvimento de equipamentos que utilizem de forma otimizada as energias derivadas da madeira.

Brito (2007); INEE (2006); Uhlig (2008) apontam ainda inúmeras barreiras a serem superadas:

- a) Agrícolas: baixo estímulo ao pequeno e médio agricultor para produzir madeira para fins energéticos;
- b) Ambientais: falta de conhecimento da possibilidade de agregar a obtenção de madeira para energia nos processos relacionados ao mercado de carbono;
- c) Culturais: conceito marginal do uso de “madeira para energia” que precisa ser desmistificado;
- d) Educacionais: carência de programas de extensão e educação, bem como da elaboração de estudos, pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos relacionados ao uso da madeira para energia;
- e) Florestais: deficiência no manejo sustentável das florestas nativas para fins energéticos; além da desagregação da lenha como produto do manejo e do uso múltiplo da floresta; falta de incentivos para o plantio de florestas de rápido crescimento para atendimento energético;
- f) Institucionais: falta de organização, planejamento para o desenvolvimento tecnológico e consequentemente otimização da “indústria da lenha”; decorrentes da natureza descentralizada dessa forma de energia, de ação da

- iniciativa privada, sobretudo por meio de empreendimentos de pequeno e médio portes mais ou menos isolados, geralmente com área de atuação restrita;
- g) Mercadológicas: má qualidade de obtenção e tratamento de dados para as estatísticas de oferta e consumo do setor; pouco incentivo para a intensificação de uso dos resíduos florestais e industriais para fins energéticos;
 - h) Tecnológicas: baixa eficiência dos processos de conversão energética da madeira, necessitando mudança dos padrões tecnológicos atuais de produção de carvão vegetal, incluindo a recuperação maciça dos gases de carbonização. A experiência da siderurgia brasileira a carvão vegetal é um exemplo de que as formas renováveis de energia só se tornam viáveis, em larga escala, se evoluírem de uma situação tecnológica primitiva e rudimentar, baseada na simples destruição das florestas, para a incorporação de tecnologias florestais mais avançadas, a fim de assegurar maior eficiência e a sustentabilidade.

Assim são necessárias ações específicas para transpor tantas barreiras e garantir que a madeira energética possa continuar atendendo com qualidade os seus mais tradicionais setores consumidores (produção de carvão vegetal, domiciliar, industrial e agropecuário) e também ocupar uma importante lacuna disponível no panorama energético brasileiro, incluindo a geração de energia elétrica por meio de usinas termoeletricas; a utilização de gasogênios a lenha ou a carvão vegetal para produção de calor industrial e acionamento de motores; o incentivo ao uso da lenha para cocção, nas áreas rurais, mediante pequenos reflorestamentos; a utilização de fogões mais eficientes; além do uso *in natura* de óleos vegetais combustíveis extraídos de plantas florestais ou na obtenção de biodiesel.

Uhlig (2008) afirma que o Brasil vive um paradoxo no setor florestal, pois tem a segunda maior cobertura florestal do mundo e é deficiente em madeira para atender todos os usos, inclusive o energético. Por outro lado, tem matriz energética com baixa emissão de GEE, mas é um dos maiores emissores mundiais devido ao desmatamento, em especial da floresta amazônica e do cerrado. Para diminuir o desmatamento ilegal, ações devem ser adotadas como aumentar a fiscalização, combater a corrupção na autorização do desmatamento, ampliar e melhorar o manejo do solo e criar áreas protegidas.

Torna-se necessário, portanto, o incentivo ao uso de outros combustíveis de madeira que não tenham sua origem nas florestas, como os resíduos de poda urbana. Assim, é extremamente necessária uma sólida aliança entre uma estruturada política para madeira energética (incluindo os resíduos de poda urbana e todos os outros resíduos de madeira) e as políticas florestal, agrícola e ambiental a fim de estabelecer um vínculo entre a madeira

energética e as ações de renovabilidade, sustentabilidade e proteção dos recursos florestais. Desta forma, estaria garantido o aumento da área florestada, além do aprimoramento do manejo e a exploração de acordo com técnicas modernas, induzindo ao uso de melhores processos de produção de carvão vegetal com a recuperação e uso de subprodutos, valorização da madeira como matéria-prima e redução das emissões de gases de efeito estufa.

Nogueira; Puppim (2007) afirmam que à medida que o uso da madeira nativa para fins energéticos é dificultado, a principal barreira (econômica) é reduzida e são criadas as condições para uma nova era de desenvolvimento do uso racional da madeira energética plantada. Na visão do INEE, o Brasil deve assumir, em caráter de urgência, uma agenda positiva que destaque os atuais aspectos positivos e os potenciais a serem desenvolvidos ao longo da cadeia produtiva da madeira energética renovável, a fim de instituir as condições para aumentar a eficiência em todos os seus estágios. Desta forma, será garantida uma produção de madeira, carvão vegetal e outras formas secundárias, com qualidade superior e custo inferior aos produtos extrativos; e os mecanismos de mercado inviabilizarão a utilização da madeira nativa (INEE, 2006).

É premente a criação de políticas públicas e para tal o governo precisa assumir perante a sociedade compromissos com biomassa de bases florestais, pois é necessário acabar com o desmatamento a fim de que a madeira energética brasileira não perca mais exportações (informação verbal) ²⁷.

Como mostrado no item 3.2.1, o mercado de produtos densificados brasileiro é incipiente em relação ao norte americano e europeu, pois faltam especificações claras para o setor. Quirino (2010) identifica necessidade de sete classes de briquetes em função dos diferentes tipos de resíduos brasileiros. Uma regulamentação madura, como a proposta pelo Pellet Fuels Institute (PFI) que inclui padrões para os combustíveis densificados, metodologias padronizadas para testar os parâmetros estabelecidos, programas de qualidade assegurada e controle de qualidade, incluindo auditorias por avaliadores independentes (PFI, 2011) pode servir como base para a padronização brasileira e dar consistência para este tipo de indústria para adquirir visibilidade internacional.

A fim de fechar a cadeia produtiva, é necessária a valorização dos co-produtos dos processos de pirólise lenta e dos produtos de pirólise rápida. Uma indústria biocarboquímica de sucesso se dará com a edição de políticas públicas como: (i) regras de incentivos para exploração do grande potencial do negócio, (ii) apoio financeiro para programas empresariais

²⁷ Pronunciamento feito por Walney de Assis Magalhães (BNDES) durante encerramento do Seminário MadEn2. São Paulo, 25 nov 2010.

em P&D, (iii) integração com o Proalcool e o Probiodiesel e (iv) desenvolvimento de uma indústria "biocarbopetroquímica" em associação, e complementação, aos negócios existentes e planejados (NOGUEIRA ; PUPPIN, 2007).

Contudo, percebe-se a necessidade de que em primeiro lugar o próprio governo se conscientize das necessidades do setor de madeira energética e se prepare tecnicamente para resolver as demandas e deficiências apontadas. É impossível a ANP especificar a madeira energética, devido à dificuldade enorme imposta pela diversidade de espécies, e mesmo que consiga, seria inócuo, pois não teria meios de efetuar fiscalização adequada (informação verbal)²⁸. Considera que a "biomassa sólida" está órfã e que o MME e o MMA, em conjunto, precisariam induzir os grandes consumidores a não usarem madeira de desmatamento, banindo do Brasil esta atividade. Para tal, deveriam fomentar uma política de indução do uso moderno da madeira como biomassa.

Neste sentido, a fim de trabalhar de forma conjunta com a ANP e também com a ANEEL, tramita pelo Senado um projeto de lei que propõe a criação da Agência Nacional de Energias Renováveis (ANER), que seria vinculada à Casa Civil da Presidência da República e sediada em Brasília. Este órgão seria destinado à promoção e desenvolvimento da energia eólica, solar, hidrelétrica, geotérmica e a energia gerada a partir da biomassa, das ondas, das marés e do hidrogênio.

Por outro lado, o fato da utilização de qualquer combustível de madeira, em particular os resíduos de poda urbana não terem nenhuma legislação que obrigue o aproveitamento energético, pode ser considerado bom, pois assim, os empreendimentos que voluntariamente fizerem esta opção são passíveis de obtenção de créditos de carbono nos moldes do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto.

²⁸ Pronunciamento feito por Waldir Gallo (ANP) durante encerramento do Seminário MadEn2. São Paulo, 25 nov 2010.

8 CONCLUSÕES

A motivação para esta tese veio dos resultados obtidos no projeto de Pesquisa & Desenvolvimento Aneel “Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo”; financiado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e desenvolvido pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (Cenbio) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo (USP) em parceria com a AES Eletropaulo.

Tais resultados indicaram um diagnóstico da baixa utilização, reciclagem ou aproveitamento dos resíduos de poda urbana. Também, as visitas de campo, realizadas nos municípios da área de concessão da AES Eletropaulo, evidenciaram que os gestores municipais ainda não sabiam como realizar o manejo, destinação e disposição destes valiosos resíduos que já são gerados e coletados de maneira segregada, dispensando triagem e separação de outros tipos de resíduos.

Assim, esta tese foi proposta com a finalidade de buscar alternativas para o aproveitamento de resíduos de poda urbana, em particular, para geração de energia elétrica. Assim, de maneira a integrar a gestão dos resíduos de poda urbana, foram apresentadas formas possíveis de reutilização pela confecção de pequenos objetos de madeira, reciclagem por meio da compostagem e aproveitamento energético por meio de processos físicos (briquetagem e peletização), termoquímicos (combustão, pirólise, gaseificação) e biológicos (digestão anaeróbia).

A partir da apresentação e análise dos resultados do projeto supramencionado, foram selecionadas duas tecnologias para aproveitamento energético: combustão dos resíduos de poda urbana por meio de um ciclo a vapor (ciclo Rankine) com geração exclusiva de energia elétrica e digestão anaeróbia dos resíduos de poda urbana com obtenção de composto orgânico e biogás, que é convertido em energia elétrica por meio de motogeradores (ciclo Otto). Como o último método produz composto orgânico, além da energia elétrica, também foi selecionado o método de compostagem com aeração estática (túneis de vento), totalizando, assim, igualmente o estudo de duas formas de aproveitamento não energético dos resíduos de poda urbana.

Apesar da tecnologia de ciclo a vapor ser amplamente difundida, não se tem notícia de nenhuma usina termoeletrica instalada no Brasil que seja abastecida exclusivamente com resíduos de poda urbana. Da mesma forma, isto é, ainda inédito no Brasil, é o sistema de digestão anaeróbia, pois não há nenhuma planta em operação e nem em vias de ser instalada.

Os resultados da avaliação econômica da planta de digestão anaeróbia são desfavoráveis para que tal tecnologia seja usada no Brasil. Considerando tratar-se de uma tecnologia amplamente usada na Europa, seria pertinente um estudo da nacionalização dos equipamentos, em particular do fermentador (biodigestor), uma vez que a fabricação dos equipamentos de conversão do biogás já se encontra em estágio mais adiantado no Brasil. Ressalta-se aqui, que todos os equipamentos da central termoelétrica são de fabricação nacional.

Os custos de geração de energia elétrica a partir de resíduos de poda urbana para as centrais termoelétricas desta tese são de R\$4.757/kW para a potência instalada de 1.200 kW e R\$3.500/kW para a de 1.700 kW. Mesmo sendo a melhor opção aqui estudada, tais custos de geração são elevados se comparados às usinas termoelétricas de grande porte, incluindo aquelas das usinas de açúcar e álcool, que se utilizam do bagaço, palhas e pontas provenientes da produção da cana-de-açúcar, ou outra biomassa como a palha de arroz, ou os tradicionais combustíveis fósseis como óleo ou gás natural. Tais UTEs possuem valores de investimento da ordem de 1.500 R\$/kW nas usinas de ciclo combinado e 1.700 R\$/kW nas usinas de ciclo simples (EPE, 2011).

Neste ponto, pode-se considerar que o ganho de escala da central termoelétrica com a utilização de todo e qualquer tipo de resíduos de madeira como combustível é notadamente expressivo. Ainda mais se levando em conta que nas UTEs, um dos maiores problemas é o gasto com a aquisição de combustível (que é nulo no caso da biomassa de resíduos de poda urbana). Outra dificuldade quando se trata de usar biomassa como combustível, é a disponibilidade. No caso dos resíduos de poda urbana estudados nesta tese, não há este risco, pois não são sazonais, uma vez que as podas das árvores são realizadas pelas distribuidoras de energia de maneira contínua ao longo de todo o ano. No caso da UTE ser alimentada com resíduos de madeira em geral (provenientes das podas feitas pelas prefeituras e pelo setor privado, e dos demais resíduos de madeira como embalagens, móveis, de construção, demolição e serrarias) seria necessária uma pesquisa minuciosa, a fim de se verificar a oferta e a demanda da UTE.

Mas, se o investimento da geração de energia da central termoelétrica for comparado àquele necessário às pequenas centrais hidroelétricas (PCHs) da ordem de R\$5.000/kW (EPE, 2011), é inferior, tornando-se uma opção competitiva. Assim, apesar deste estudo sinalizar o aproveitamento energético de resíduos de poda urbana por meio de uma pequena central termoelétrica, destaca-se que todas as formas de geração de energia elétrica distribuída são importantes, pois podem ser usadas para majorar a segurança, confiabilidade e a qualidade do

suprimento do sistema interligado nacional e contribuir para o atendimento à demanda de ponta (atuando como reserva operativa). Ainda, cooperam com a diminuição dos investimentos em transmissão e distribuição e com a possível redução da importação de combustíveis fósseis usados nas usinas térmicas convencionais.

No caso da utilização dos resíduos de poda urbana para a produção de composto orgânico, esta é uma boa alternativa econômica. Mas, também o fator escala é importante, haja vista que a usina de compostagem de menor porte apresenta dificuldades para o retorno do investimento. Também neste caso, o custo do investimento da planta de digestão anaeróbia e os resultados da análise econômica descredenciam a possibilidade de uso desta opção.

A desvantagem da usina de compostagem é não gerar energia elétrica. Como vantagens apontam-se além da facilidade de operação e manutenção da usina, o mercado favorável para a comercialização do composto orgânico e a característica do produto, que em condições adequadas de fabricação, além de teor de NPK compatível aos fertilizantes minerais, é rico em macro e micronutrientes, e principalmente matéria orgânica; podendo assim, ser considerado de qualidade superior aos fertilizantes minerais, uma vez que fornece ao solo propriedades e características diferenciadas.

Neste ponto, a legislação brasileira falha quando apresenta inúmeras classificações para os produtos (como vários tipos de condicionador de solo e fertilizantes orgânicos), e não define de maneira clara as especificações para cada uma delas. Também, em pesquisa de mercado realizada durante a elaboração do projeto de P&D, que forneceu subsídios técnicos para o desenvolvimento desta tese, foi possível verificar que muitas empresas comercializam os produtos sem declarar na embalagem o tipo, e nem tampouco fazem as análises físico-químicas para verificar se atendem às especificações mínimas vigentes. Desta forma, uma fiscalização mais atuante no setor, também faria com que este mercado atingisse o amadurecimento necessário.

Também, nota-se a falta de políticas de incentivo (tarifárias ou subsídios) a empresas fabricantes de equipamentos do setor de geração descentralizada. No caso da planta de digestão anaeróbia, além de não haver fermentadores nacionais, a conversão da energia térmica do biogás em energia elétrica por meio motores ciclo Otto nacionais está restrita a pequeno porte (em torno de 300 kW), ficando os empreendedores que possuem sistemas de maiores potências sujeitos às variações do dólar e taxas de importação. Tal fato é um dos complicadores da utilização de resíduos de poda urbana em plantas de digestão anaeróbia, pois encarecem o investimento e também a manutenção do empreendimento.

A ausência de incentivo de financiamento para fontes renováveis de biomassa de

pequeno porte também se constitui em barreira. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) apoia projetos de bioeletricidade, biodiesel, bioetanol, energia eólica, energia solar, pequenas centrais hidrelétricas e outras energias alternativas que visem à diversificação da matriz energética nacional e que contribuam para a sua sustentabilidade por meio da linha “Energias Alternativas”. No caso dos projetos de bioeletricidade, o apoio está restrito àqueles que utilizem caldeira de biomassa com pressão maior ou igual a 60 bar. Esta medida foi adotada como um incentivo às usinas de açúcar e álcool a modernizarem seu parque de geração elétrica, mas acaba por não incentivar pequenas centrais termoelétricas como a de resíduos de poda urbana proposta nesta tese.

O uso dos resíduos de poda urbana em grande escala e em todo o território nacional poderia colaborar até para a redução do desmatamento de florestas nativas para fins energéticos. Neste sentido, é evidente a carência da atuação firme do governo federal na fiscalização dos recursos florestais e na proposta de políticas públicas que assegurem o incentivo ao uso de outros combustíveis de madeira que não tenham sua origem nas florestas, como os resíduos de poda urbana e todos os outros tipos de resíduos de madeira (indústrias de móveis, madeireiras, marcenarias, serrarias, construções e demolições, embalagens, mobiliário usado, etc.). Também, é evidente a necessidade do banimento do uso de madeira de desmatamento e o estímulo ao uso sustentável da madeira como biomassa (a chamada biomassa moderna), pelo estímulo da geração descentralizada de energia elétrica por meio de centrais termoelétricas de pequeno porte a biomassa, da utilização de eficientes métodos de pirólise para a obtenção de carvão vegetal (insumo tão importante para a indústria siderúrgica nacional) e a inclusão do aproveitamento dos seus co-produtos.

Em termos ambientais, os novos empreendimentos que envolvem processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados da madeira são impactados por legislação que assegura padrões de emissão de poluentes convenientes e rígidos. A atividade carece de padrões ambientais mais seguros para os sistemas em operação. Neste ponto, é interessante mencionar, também, a importância de fiscalização eficaz por parte dos órgãos ambientais.

Outro ponto importante a se destacar, é a carência de informações a respeito da quantidade de resíduos de poda urbana gerados nos municípios brasileiros, dificultando uma gestão adequada e eficiente. Contudo, esta barreira será sanada em breve, uma vez que os estados, o Distrito Federal e os municípios deverão disponibilizar anualmente ao SINIR as informações relativas aos resíduos sólidos sob sua competência, como determinado na nova Política Nacional dos Resíduos Sólidos e sua regulamentação. Caberá ao SINIR fazer a

divulgação destes dados por meio de um inventário nacional de resíduos sólidos.

Tal inventário será de vital importância para que o poder público e os investidores possam se organizar e estudar quais os melhores locais para implantar as usinas de beneficiamento de resíduos de poda urbana (e de madeiras inservíveis em geral), uma vez que tais resíduos, em futuro próximo, não mais poderão ser depositados em aterros, pois são passíveis de reutilização, reciclagem, compostagem ou aproveitamento energético.

Assim, mesmo que as opções apresentadas e analisadas nesta tese não tenham apresentado retorno financeiro atrativo, trata-se de um ponto de partida para que outros estudos sejam realizados e possam ser aprofundados, uma vez que os municípios terão de implantar alguma alternativa sustentável para a destinação final dos resíduos de poda urbana (e dos outros tipos de madeira) sob sua responsabilidade. Uma sugestão é que sejam feitos consórcios entre os municípios, pois o aumento da quantidade de resíduos de madeira a tratar (em qualquer opção de aproveitamento, energético ou não) aumentaria o porte do investimento e consequentemente diminuiria o investimento e majoraria o retorno financeiro.

Outra avaliação importante é a estimativa da obtenção de créditos de carbono, quer seja para as opções estudadas nesta tese (central termoeletrica, usina de compostagem e planta de digestão anaeróbia) quanto para as outras formas de aproveitamento dos resíduos de poda urbana e de madeira em geral. Assim, a venda dos certificados de emissão reduzida se configura em majoração das receitas e consequentemente, melhora o tempo de retorno do investimento e a taxa de atratividade, o que pode impulsionar os investidores, incluindo as parceiras público-privadas.

No caso de algum empreendedor se interessar por uma das alternativas aqui apresentadas, é aconselhável realizar um estudo de quantificação de resíduos de poda por espécie, seguindo, por exemplo, a metodologia proposta por Meira (2010) a fim de avaliar, de maneira mais detalhada as propriedades físico-químicas e caloríficas dos resíduos de poda urbana, para garantir a quantidade mínima de vapor necessária na central termoeletrica ou de biogás na usina de digestão anaeróbia para que a geração de energia não seja inferior à desejada.

Como trabalhos futuros, a fim de poder avaliar o potencial de aproveitamento energético de resíduos de poda urbana gerados nas demais regiões do país, recomenda-se que outras formas de geração de energia sejam avaliadas (técnica, econômica e ambientalmente), como o caso da gaseificação da biomassa para ser usada em ciclos combinados com gaseificadores e turbinas a gás. Também, sugere-se estudo para obtenção de carvão vegetal a partir de resíduos de podas urbanas, principalmente nas regiões onde este combustível é muito

usado (o que não é o caso da região de estudo desta tese). Outro estudo importante seria o da utilização dos resíduos de poda urbana em processos de homogeneização e densificação como briquetagem e peletização visando, principalmente ao mercado externo.

Ainda no tocante ao aproveitamento energético dos resíduos de poda urbana, seria conveniente, em trabalhos futuros, estudar a possibilidade de instalação de processos de cogeração, ou apenas de produção de energia térmica ou vapor de processo, sendo os empreendimentos instalados próximos a consumidores de vapor.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **ABNT NBR 10004/2004. Resíduos Sólidos. 2004.**

ACURIO, G. et al. **Diagnóstico de La Situación del Manejo de Resíduos Sólidos Municipales en America Latina y el Caribe.** Washington: BID/Opas, 1997.

AES Eletropaulo. **Portal da AES Eletropaulo.** Disponível em <<http://www.aeseletropaulo.com.br/empresa/Paginas/Perfil.aspx>>. Acesso em 13 jul. 2010.

AGÊNCIA (2010). **Governo nomeará em fevereiro grupo para criar política nacional de resíduos sólidos.** 8 jan 2011. Disponível em <<http://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2011/01/08/64942-governo-nomeara-em-fevereiro-grupo-para-criar-politica-nacional-de-residuos-solidos.html>>. Acesso em 31 jan 2011.

ALVES, B.L.G. **Gestão de resíduos de poda: estudo de caso da Fundação Parques e Jardins do município do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2007. 154p. Dissertação (Mestrado Profissional). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em <http://www.peamb.eng.uerj.br/producao.php?id=105>> Acesso em 10 jul 2010.

AMS (Associação Mineira de Silvicultura). **AMS: Números do setor.** n. 171, 2010b. Disponível em: http://www.silviminas.com.br/NumerosSetor/Arquivos/numerosetor_171.pdf Acesso em 19 jul. 2010.

AMS (Associação Mineira de Silvicultura). **AMS:Números do setor.** n.203, 2010a. Disponível em: <http://www.silviminas.com.br/NumerosSetor/Arquivos/numerosetor_203.pdf>. Acesso em 19 jul. 2010.

ANDRADE, M.S. **Compostagem de resíduos vegetais: a proposta de Curitiba.** In: Simpósio Lusobrasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 6. v.1. tomo2. p.143-154, 1994.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Atlas de Energia Elétrica.** 3 ed. Brasília: 2008. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>.> Acesso em: 14 jul. 2010.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Banco de Informações de Geração.** 2010. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoGeracaoTipo.asp?tipo=5&ger=Combustivel&principal=Biomassa>>. Acesso em 14 jul. 2010

ARRIGO, N.M.; JIMÉNEZ, M.L.P.; PALMA, R.M; BENITO, M; TORTAROLO, M. Resíduos de poda compostados y sin compostar: uso potencial como enmienda orgánica en suelo. **CI. Suelo (Argentina)**. v. 23 n.1. p.87-92, 2005.

AZEVEDO, J. **Estudo ambiental/econômico do composto orgânico do sistema de beneficiamento de resíduos sólidos urbanos da Usina de Irajá, município do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense. Área de Concentração: Geoquímica Ambiental. 2000.

BAERE; L.D; MATTHEEUWS, B. Anaerobic digestion of MSW in Europe. **Biocycle**. Fev 2010, p.24 – 26.

BARATTA JR, A.P.; MAGALHÃES, L.M.S. Aproveitamento de resíduos da poda de árvores da cidade do Rio de Janeiro para compostagem. Nota científica. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.8, n.1, p.113-125, 2010.

BARATTA JR., A.P. **Utilização do composto de resíduos da poda da arborização urbana em substratos alternativos para a produção de mudas**. Mestrado (em andamento em Ciências Ambientais e Florestais). Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

BARREIRA, L.P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 2005, 187p. Tese (Doutorado), Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo. 2005.

BARROSO. R.A. **Consumo de lenha e produção de resíduos de madeira no setor comercial e industrial do Distrito Federal**. Distrito Federal, 2007. 65p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.

BIDONE, F.A. (Org.). **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. 2001. Disponível em: <www.finep.gov.br>. Acesso em: 03 out. 2007.

BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social). **Informações de crédito**. Disponível em <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Produtos/FINEM/energias_alternativas.html> Acesso em 30 jan 2011.

BOLOGNESI, A. **Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos + Recuperação de Energia. Solução Limpa, Definitiva e Sustentável**. Seminário Internacional: Perspectivas para o Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. São Paulo, 24 de novembro de 2010.

BRASIL. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005**. 20005. Disponível em <http://www.biodiesel.gov.br/docs/lei11097_13jan2005.pdf>. Acesso em 5 fev 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução Conama nº 5 de 15 de junho de 1989. 1989. **Diário Oficial da União**. Brasília, 25 ago 1989. Seção 1, p. 14713-14714.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução Conama nº 8 de 6 de dezembro de 1990. 1990. **Diário Oficial da União**. Brasília, 28 dez 1990, Seção 1, p. 25539.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução Conama nº 378 de 19 de out 2006. 2006c. **Diário Oficial da União**. Brasília, 20 out 2006, n. 202, Seção 1, p. 175.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA). **Instrução Normativa nº 35**, de 04 de julho de 2006. 2006a. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=17043>> Acesso em 03 fev 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução Conama nº 375 de 29 de agosto de 2006**. 2006b. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em 20 abr 2007.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Decreto nº 7.404**, de 23 de dezembro de 2010. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm Acesso em 20 jan 2011.

BRASIL. Senado Federal Subsecretaria de Informações. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. 2010a. Disponível em <http://www.cbcs.org.br/userfiles/comitestematicos/outrosem_sustentabilidade/Lei_12.305_de_02ago2010_Pol-Nac-Res-Solidos.pdf>. Acesso em 15 dez 2010.

BRASIL. Senado Federal. Subsecretaria de Informações. **Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997**. 1997. Disponível em <<http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaTextoIntegral.action?id=124849>> Acesso em 5 fev 2011.

BRITO, J.O. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, v.21, n.59, p.185-193, jan./abr. 2007.

BRITO, J.O. **Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira.** Documentos Florestais: n.9; 1-19, maio 1990. Piracicaba: USP/ESALQ. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/docflorestais/cap9.pdf>>. Acesso em 10 jul. 2010

CAIXETA, D.M. **Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano: o caso de Campo Grande/MS.** Monografia de Especialização submetida ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília – CDS/UnB objetivando a conclusão do Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em resíduos sólidos. 2005. Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável.

CAMPBELL, S. **Manual de Compostagem para Hortas e Jardins.** São Paulo: Nobel, 1995.

CDM. **CDM Monitoring Report Form (CDM-MR).** Version 01 - in effect as of: 28/09/2010. 2010b. Disponível em <http://cdm.unfccc.int/filestorage/0WZLFV2BRPAGXYNU4OI9SC6M7QDHTE/169_MR.pdf?t=cTN8MTI5Njc3NzMzOC43Ng==lhWoq490bL9Fw9CxorJtcBQoRS4> Acesso em 3 fev 2011

CDM. **CDM Pipeline.** 1st February 2011. Disponível em: <<http://cdmpipeline.org/>>. 3 fev 2011 <<http://cdmpipeline.org/publications/CDMPipeline.xlsx>> Acesso em 3 fev 2011

CDM. **Monitoring Report Version: 2.0.** date 01.10.2010. Project Title: Composting of Organic Waste in Dhaka. Project Reference Number: 00169. Monitoring Period: 25/11/2008 – 31/07/2010. 2010a. Disponível em <http://cdm.unfccc.int/filestorage/0/W/Z/0WZLFV2BRPAGXYNU4OI9SC6M7QDHTE/169_MR.pdf?t=TUR8MTMwMzQ3ODY2NS4zOQ==loDUSjmZerQHQO1mg7DjDpXL16xE=>>. Acesso em 5 jan 2011.

CECCONI, V. **Sistema Integrado de Brésia Para a Coleta dos Resíduos e a Recuperação de Energia Elétrica e Térmica.** Seminário Internacional: Perspectivas para o Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. São Paulo, 24 de novembro de 2010.

CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa). **3º Relatório parcial do projeto Fortalecimento Institucional do Centro Nacional de Referência em Biomassa,** 2007a.

CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa). P&D Aneel “Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo”. **Acervo fotográfico do Projeto.** 2008a.

CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa). Relatório Técnico do Projeto P&D Aneel: “Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo”. **Análise e valoração econômica dos compostos orgânicos obtidos na usina piloto de compostagem.** Maio de 2008. 2008c.

CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa). Relatório Técnico do Projeto P&D Aneel: “Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo”. **Consolidação dos dados de quantificação dos resíduos de poda gerados na área de concessão da AES Eletropaulo.** Maio de 2007. 2007d.

CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa). Relatório Técnico do Projeto P&D Aneel: “Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo”. **Impactos ambientais na área de concessão da AES Eletropaulo.** Fevereiro de 2007. 2007c.

CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa). Relatório Técnico do Projeto P&D Aneel: “Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo”. **Processos de Compostagem.** Janeiro de 2007. 2007b

CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa). Relatório Técnico do Projeto P&D Aneel: “Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo”. **Projeto de usina piloto de compostagem: manual de instalação, operação e monitoramento.** Maio de 2008. 2008b.

COELHO, S.T. **Avaliação da cogeração de eletricidade a partir de bagaço de cana em sistemas de gaseificador / turbina a gás.** São Paulo, 1992. Dissertação (Mestrado) Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 1992

COLOMBO, S.F.O.; HATAKEYAMA, K. **A composição do custo operacional do processo artesanal de produção de carvão vegetal com interface das pressões trabalhistas e ambientais.** Congresso Nacional de Administração, Gestão Estratégica para o Desenvolvimento Sustentável, setembro, 2007, Ponta Grossa-PR.

COLOMBO, S.F.O.; PIMENTA, A.S.; HATAKEYAMA, K. **Produção de carvão vegetal em fornos cilíndricos verticais: um modelo sustentável.** XIII SIMPEP. 6 a 8 de Novembro de 2006. Bauru, São Paulo, (SP) Brasil. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/1208.pdf>. Acesso em 5 jul. 2010.

CONSUFOR. **Produção de Pellets no Brasil.** Agosto de 2010. Disponível em <<http://www.consufor.com/download.php?a=ec8956637a99787bd197eacd77acce5e>>. Acesso em 20 jan 2010.

CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz). **Norma Técnica: Diretrizes Ambientais para Empresas Contratadas.** 2009. Disponível em: <<http://www.cpfl.com.br/LinkClick.aspx?fileticket=Gcuyhsjh%2fjk%3d&tabid=1417&mid=2064>>. Acesso em 09 jul 2010.

DOE (U. S. Department of Energy). National Energy Technology Laboratory. **Gasificaton 2010 Worldwide Database**. Disponível em < <http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/worldddatabase/index.html>>. Acesso em 28 jan 2011.

EIGENHEER, E.; FERREIRA, J.A.; ADLER, R.R. **Reciclagem: mito e realidade**. Rio de Janeiro: In Folio, 2005.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética - Ministério de Minas e Energia do Brasil). **Balanço Energético Nacional 2006**: Ano base 2005. Rio de Janeiro: EPE, 2006. Disponível em < https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2006_Versao_Completa.pdf >. Acesso em 10 jan. 2007.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética - Ministério de Minas e Energia do Brasil). **Balanço Energético Nacional 2010**: Ano base 2009. Rio de Janeiro: EPE, 2010. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_-_BEN_2010_Portugues_-_Inglxs_-_Completo.pdf>. Acesso em 17 jan.. 2010.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética - Ministério de Minas e Energia do Brasil). **Balanço Energético Nacional 2009**: Ano base 2008. Rio de Janeiro: EPE, 2009. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_-_BEN_2009_Portugues_-_Inglxs_-_Completo.pdf>. Acesso em 17 jul. 2010.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética - Ministério de Minas e Energia do Brasil). **Atualização do Valor para Patamar Único de Custo de Déficit – 2011**. 2011. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_16/NT_CustodeDeficit_2011.pdf>. Acesso em 01 jul. 2011.

FATIMA, M. **Manejo integrado dos resíduos sólidos de poda urbana da cidade de Recife**. Dissertação para obtenção do de Especialista em Gestão e Controle Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, 2003.

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

FIALHO, L.L.; SILVA, W.T.L.; MILORI, D.M.B.P.; SIMÕES, M.L.; NETO, L.M. **Monitoramento químico e físico do processo de compostagem de diferentes resíduos orgânicos**. Circular técnica. São Carlos: Embrapa, 2005

FINCO, M V.A.; REZENDE, D. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) como gerador de benefícios econômicos: uma estimativa para o Município de Cumaru do Norte/PA. **Revista Carbono Social**, v. 1, p. 16-21, 2007.

FLORIANÓPOLIS. Prefeitura Municipal. **Notícias**. Disponível em <<http://portal.pmf.sc.gov.br/entidades/smctdes/?pagina=notpagina&menu=3¬i=3056>>. Acesso em 10 jan 2011.

FUNASA. **Manual de Saneamento**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde. Ministério da Saúde. Departamento de Saneamento, 1999.

GARCILASSO, V. P.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; COELHO, S. T. **Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás Proveniente de Aterro Sanitário. Estudo de Caso**. XIII Congresso Brasileiro de Energia. Disponível em <http://cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/xiiiicbe_aterro.pdf> Acesso em 3jan 2011

GORINI, R. **Energias Renováveis no Brasil e no Espírito Santo**. IV Fórum Capixaba de Energia. Vitória , 08 de junho de 2011. Disponível em <www.forumcapixabadeenergia.com.br/download/Palestra%20-%20Ricardo%20Gorini.ppt> Acesso em 23 jun 2011.

GUIMARÃES, M. O. **Planos Municipais de Saneamento Básico**. Seminário Internacional: Perspectivas para o Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. São Paulo, 24 de novembro de 2010.

HAMELINCK, C. N.; FAAIJ, A.P.C.; UIL, H.; BOERRIGTER H. Production of FT transportation fuels from biomass; technical options, process analysis and optimisation, and development potential. **Energy** v.29, n.11, September 2004, p. 1743-1771.

HIGMAN, C; VAN DER BURGT, M. **Gasification**. Massachussets: Elsevier, 2003.

IBGE. (INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Produção Agrícola 2009**. 2010. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_da_ExtracaoVegetal_e_da_Silvicultura/2005/>. Acesso em: 30/01/2010.

IBGE. (INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Perfil dos Municípios Brasileiros 2006**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2006/default.shtm>>. Acesso em 08 mar 2010,

IBGE. (INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Pesquisa Nacional sobre Saneamento Básico: PNSB 2000**. 2002. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm#sub_download> Acesso em 20 jan 2006.

IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico). 2003. Disponível em <<http://www.igc.sp.gov.br/mapasRas.htm>>. Acesso em 12 jan 2007.

INEE. (Instituto Nacional de Eficiência Energética). **Política para a madeira energética.** Versão 26 XII 2006. Disponível em < http://www.inee.org.br/down_loads/biomassa/Madeira%20Energetica%2026%20dezembro.doc >. Acesso em 20 dez 2010.

INEE. (Instituto Nacional de Eficiência Energética). **Uma política para a bioenergia da madeira.** Versão 2.7, Julho 2010. Disponível em < http://www.inee.org.br/down_loads/biomassa/Política_ME2_7_23jul_2010.doc >. Acesso em 20 dez 2010.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE), 2007. Disponível em <www.ipcc.ch>. Acesso em 15 jan 2006

JOAQUIM, M.S. **Carvão Vegetal: Uma Alternativa Para os Produtores Rurais do Sudoeste Goiano.** Brasília, 2009. 86p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. Distrito Federal, 2009.

KIEHL E.J. **Fertilizantes Orgânicos.** Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.

KIEHL, E.J. **Manual de Compostagem** – Maturação e Qualidade do Composto. Piracicaba: Degaspari; 1998.

KOHLER, L. **Solid Waste Management in Bavaria.** Seminário Internacional: Perspectivas para o Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. São Paulo, 24 de novembro de 2010.

KOMPOGAS. **The Kompogas Process. Mechanical-Biological Waste Treatment (MBWT).** 2005. Disponível em < http://www.axpo-kompogas.ch/files/artikel/99/The_Kompogas_Process_-_Mechanica_-_Biological_-_Waste_-_Treatment.pdf >. Acesso em 22 out 2005.

KÖNIG, T. **Thermal waste treatment - a part of integrated waste management systems.** Seminário Internacional: Perspectivas para o Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. São Paulo, 24 de novembro de 2010.

LAPROVITERA, V.O. **Aproveitamento dos resíduos de poda e da remoção de árvores de domínio público da Cidade do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro. Monografia (Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

LEITE, A.D.A **Energia do Brasil.** Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

LEITE, F. **Projecto LIPOR. Uma Estratégia para o futuro.** Seminário Internacional: Perspectivas para o Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. São Paulo, 24 de novembro de 2010.

LIMA, A.X. **Estudo de viabilidade técnico-econômica de uma usina de incineração de resíduos sólidos urbanos no ABCD.** São Paulo, 1994. Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia. (EP / FEA / IEE / IF). Dissertação (Mestrado)

LIMA, L.M.Q. **Tratamento de Lixo.** 2 ed. São Paulo: Hemus, 1981.

LOPES, C.S.D. Desenho de pequenos objetos de madeira com resíduo da indústria de processamento mecânico da madeira. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente.** v.4, n.3, Artigo 1, p.105-132, set./dez. 2009. Disponível em: <http://www.interfacehs.sp.senac.br/br/artigos.asp?ed=12&cod_artigo=214>. Acesso em 29 jul. 2010.

LOPEZ-REAL, J.M. **Agroindustrial waste composing and its agricultural significance.** Proceedings of the Fertilizer Society. 1990; 293:1 - 26.

LORA, E.E.S. et al. Gaseificação. In: CORTEZ, L.A.B; LORA, E.E.S.; GOMEZ, E.O. (org). **Biomassa para energia.** Campinas, São Paulo. Editora da UNICAMP, 2008

LORA, E.E.S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte.** 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

LUA, D. US\$ 50 milhões jogados no lixo. **Jornal do Brasil**, Caderno Cidade, 17, 29 Out. 1999.

MACCARINI, A.C. **Logística da obtenção, preparo, otimização do uso e destino final dos resíduos de poda de árvores de logradouros públicos, voltado ao aproveitamento energético para fins industriais.** In XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2007. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2007_TR650480_0056.pdf>. Acesso em 22 jul 2010.

MARTINS, H. **Madeira como fonte de Energia.** In Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais / CETEC. Uso da Madeira para Fins Energéticos. Belo Horizonte; 1980. (Série de Publicações Técnicas, 1).

MEIRA, A.M. **Gestão de resíduos de arborização urbana.** Piracicaba, 2010. 178p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-19042010-103157/>>. Acesso em 5 jul. 2010.

MELLO FILHO, L.E. **Arborização urbana**. In: Encontro Nacional sobre arborização Urbana, 1., Porto Alegre, 1985. Anais: Porto Alegre: Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 1985, p. 117-127.

MIKSYS, V.; VARNAGIRYTE-KABASINSKIENE, I.; STUPAK, I.; ARMOLAITIS, K.; KUKKOLA, M.; WOJCIK, J. **Above-ground biomass functions for Scots pine in Lithuania**. In Sustainable use of Forest Biomass for Energy, Proceedings of the WOOD-EN-MAN session at the conference Nordic Bioenergy 2005 Trondheim, Norway, 27 October 2005.

MIZARAITE, D.; MIZARAS, S.; SADAUSKIENE, L. Wood fuel supply, costs and home consumption in Lithuania. **Biomass and Bioenergy**, v. 31, n. 10, p.739-746, 2007.

NAKASAKI, K.; YAGUSHI, H.; SASAKI, Y.; KUBOTA H. Effects of C/N ratio on thermophilic composting of garbage. **J. of Fermen and Bioeng.** v.73, n.1 p.43-45, 1992.

NINNI, K. Municípios buscam reciclar suas árvores. **O Estado de São Paulo**. São Paulo, 30 de junho de 2010 | 0h 00. Disponível em < http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20100630/not_imp574014,0.php>. Acesso em 11 jan 2011.

NOGUEIRA, L. H.; PUPPIN, O. **Madeira energética**. Principais questões envolvidas na organização e no aperfeiçoamento do uso energético da madeira. Sumário executivo e o resumo das apresentações. BNDES, 29 mai 2007. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em <<http://www.inee.org.br/download/biomassa/Sumario%20Workshop%20Madeira%20Energetica.doc>>. Acesso em 20 dez 2010.

NOGUEIRA, L.A.; LORA, H. **Dendroenergia**: fundamentos e aplicações. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

O'BRIEN, T.; SHADLE, L. Gasification Short-Course – Introduction. (NETL) National Energy Technology Laboratory. Morgantown, WV. Criciúma. Brasil. Abr. 2008

OLIVEIRA, C. Seminário MadEn2. Seminário Sobre Madeira Energética. São Paulo, 25 de novembro de 2010.

OWS (Organic Waste Systems). **Histórico da tecnologia de digestão anaeróbia** 2005. Disponível em < www.ows.be >. Acesso em 15 out 2005.

PALERMO Jr, A. **Planejamento da arborização urbana visando a eletrificação e as redes de distribuição**. In: Encontro Nacional de Arborização Urbana, 2., Maringá, 1987. Anais. Maringá: Prefeitura do Município de Maringá, 1987. p. 68-71.

PATHAK, B.S.; PATEL, S.R.; BHAVE, A.G.; BHOI, P.R.; SHARMA, A.M.; SHAH, N.P. Performance evaluation of an agricultural residue-based modular throat-type down-draft gasifier for thermal application. **Biomass and Bioenergy**. v.32 n.1 p.72-77. 2008.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – estudo de caso**. São Paulo, 2006. Dissertação (Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. (2006)

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de Compostagem: processo de Baixo Custo**. Belo Horizonte. UNICEF, 1996. 56p.

PEREIRA NETO, J.T. **Quanto vale o nosso lixo**. Belo Horizonte: IEF, 1999.

PÉREZ, J.M.M. **Critérios para implementação de Biorefinarias de biomassa**. MadEn2. Seminário Sobre Madeira Energética São Paulo, 25 de novembro de 2010.

PFI (Pellet Fuels Institute). 2008. **Standards and Quality Assurance/Quality Control Program**. Disponível em < <http://www.pelletheat.org/2/quality.html>>. Acesso em 11 jan 2011.

PFI (Pellet Fuels Institute). **PFI (Pellet Fuels Institute) Standard Specification for Residential/Commercial Densified Fuel**. October 25, 2010. Disponível em <<http://pelletheat.org/wp-content/uploads/2010/01/PFI-Standard-Specification-for-Residential-Commercial-Densified-Fuel-10-25-10.pdf>>. Acesso em 11 jan 2011.

PINHEIRO, J.S. **Lixo Hospitalar - proposta para classificação. Embalagem, coleta e destino final**. Florianópolis, SC. Santa Catarina: Departamento de Saúde Pública, Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.

QUIRINO, W.F. **Compactação de Biomassa**. Seminário MadEn2. Seminário Sobre Madeira Energética. São Paulo, 25 de novembro de 2010.

REIS, M.F.P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. Rio Grande do Sul, 2005. 239p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2005. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7653/000550758.pdf?sequence=1>>. Acesso em 5 jan. 2011.

REMADE (2010). **Consumo de Carvão Vegetal Produzido com Madeira Nativa e de Reflorestamento no Brasil (1000 mdc)**. Disponível em <http://www.remade.com.br/br/bd_carvao_vegetal.php?num=5&title=Consumo%20de%20Ca

rv%E3o%20Vegetal%20Produzido%20com%20Madeira%20Nativa%20e%20de%20Reflorestamento%20no%20Brasil%20(1000%20mdc)>. Acesso em 5 fev 2011.

Rondônia. Lei nº 1145, de 12 de dezembro de 2002. Disponível em <http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/lei_lei_11452002_26765.pdf> Acesso em 25 abr 2008.

Rosa, L.P. (Coord). Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos e Óleos Vegetais In: Tolmasquim, M.T. (Org.) **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. Cap.2, p.93-161.

Sabiá, R.J.; Duarte, P.H.G.; Martins, M.C.B; Alves Jr; F.T. **Estudo da Geração de Energia a Partir dos Resíduos Sólidos**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 18 a 23 de setembro de 2005 - Campo Grande/MS. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/III-045.pdf>>. Acesso em 16 jul. 2010.

Santos, S.M.A. **Geração de Eletricidade em Comunidades Isoladas na Região Amazônica com a Utilização de Gaseificadores de Biomassa**. 2006. 186 p. Dissertação de mestrado. Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia. Universidade de São Paulo.

São Paulo (Estado) Secretaria do Meio Ambiente. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. Governo do Estado da Baviera. Secretaria do Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção do Consumidor - StMUGV. **Gerenciamento de resíduos sólidos: uma visão de futuro**. São Paulo: SMA, 2010b.

São Paulo (Estado) Secretaria do Meio Ambiente. **Gerenciamento de resíduos sólidos: uma visão de futuro**. São Paulo: SMA, 2005.

São Paulo (Estado). **Lei Estadual nº 12.300, de 16 de março de 2006**. 2006. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/files/PERS.pdf>> Acesso em 22 dez 2010.

São Paulo (Estado). **Lei nº 13.798, de 9 de novembro de 2009**. 2009. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/leis/2009_lei_13798.pdf>. Acesso em 31 jan 2011.

São Paulo (Estado). Secretaria de Estado de Saneamento e Energia. **Implantação de central de tratamento de resíduos no estado de São Paulo: Tratamento térmico para aproveitamento energético**. Sumário Executivo. **Gerenciamento de resíduos sólidos: uma visão de futuro**. Novembro de 2010. São Paulo, 2010b.

SNSA (Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2007**. Parte 1 – Texto - Visão Geral da Prestação de Serviços. Brasília: MCIDADES. SNSA, 2009a. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em 25 fev 2010.

SNSA (Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2007**. Parte 2 - Tabela de Informações e Indicadores. Brasília: MCIDADES. SNSA, 2009b. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em 25 fev 2010.

SNSA (Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2008**. Parte 1 – Texto - Visão Geral da Prestação de Serviços. Brasília: MCIDADES. SNSA, 2010a. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em 22 dez 2010.

SNSA (Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2008**. Parte 2 - Tabela de Informações e Indicadores. Brasília: MCIDADES. SNSA, 2010b. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em 22 dez 2010.

SONNTAG, R.E.; BORGNAKKE, C.; VAN WYLEN; G.J. **Fundamentos da Termodinâmica**. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

SPELTER, H.; TOTH, D. **North America's wood pellet sector**. Research Paper FPL-RP-656. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 21 p. 2009.

STERNADT, G.H. **Pequenos objetos de madeira – POM: compostagem de madeira serrada**. Brasília: Ibama; LPF, 2002.

SVMA (Secretaria do Verde e do Meio Ambiente do Município de São Paulo). **Manual de Poda**. 2005. Disponível em <http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/meio_ambiente/eixo_biodiversidade/arbonizacao_urbana/0002/Manual_poda_final.pdf>. Acesso em 25 fev 2010.

TCHOBANOGLIOUS, G. **Integrated Solid Waste Management**. New York: Mc Graw Hill, 1993.

UHLIG, A. **Lenha e carvão vegetal no Brasil: balanço oferta-demanda e métodos para a estimativa do consumo**. São Paulo, 2008. 156p. Tese (Doutorado em Energia). Programa Interunidades de Pós – Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Composting of yard trimmings and municipal solid waste**. 1994. Disponível em <<http://www.epa.gov/ttnatw01/burn/burnalt1.pdf>>. Acesso em 15 jul 2010.

VALE, A.T.; SARMENTO; T.R; ALMEIDA, A.N. Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília, DF (Wood branches characterization and use of the lity of brazilian urban trees). **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, p. 411-420, 2005. Disponível em: <<http://www.bioline.org.br/pdf?cf05040>> Acesso em 10 jul 2010.

VARKULYA JR., A. **Aproveitamento dos resíduos de serraria na geração de energia elétrica no município de Ulianópolis, estado do Pará: estudo de caso para o incentivo à exploração florestal sustentável da Amazônia**. São Paulo, 2004. Universidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

VELASCO, G.D.N. **Arborização viária x sistemas de distribuição de energia elétrica: avaliação dos custos, estudo das podas e levantamento de problemas fitotécnicos**. Piracicaba, 2003. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo.

VELÁZQUEZ, S.M.S.G. **Perspectivas para a geração de excedentes de energia elétrica no segmento de papel e celulose com a utilização de sistemas de gaseificação/turbina a gás**. São Paulo, 2006. 263 p. Tese (Doutorado em Energia). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

VELÁZQUEZ, S.M.S.G; SANTOS; S.M. A.; MOREIRA; J.R.; COELHO, S.T. **A Geração de Energia Elétrica em Comunidades Isoladas na Amazônia a partir de Biomassa Sustentável: Projeto ENERMAD**. In: XIII Congresso Brasileiro de Energia - XIII CBE. Proceedings. 09 a 11 de novembro de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

VITAL, M.H.F.; PINTO; M.A. C. Condições para a sustentabilidade da produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa no Brasil. **BNDES Setorial** n.30; Nov. 2009. Disponível em <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivo_s/conhecimento/bnset/set3006.pdf> Acesso em 30 nov 2010.

YANG, P.; JENKINS, B.M. Wood residues from sawmills in California. **Biomass and Bioenergy**, v.32, n.2, p.101-108, fev. 2008.

APÊNDICE A - Quantidade e Destinação de Resíduos de Poda Urbana Declarados no Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – Ano de Referência 2008

UF	Município	Resíduos de poda	
		Quantidade (t / ano)	Destinação
AL	Arapiraca/AL	1.064	Aterro Sanitário
AM	Manaus/AM	3.906	Aterro do km 19
AP	Macapá/AP	936	Aterro Controlado (Antigo Carapirás)
	Amargosa/BA	243	Lixão
	Camaçari/BA	2.336	Aterro Integrado Camaçari / Dias D'Ávila
	Feira de Santana/BA	5.028	Aterro Sanitário de Feira de Santana
BA	Jacobina/BA	864	LIMPUJA- Limpeza Publica de Jacobina
	Lauro de Freitas/BA	998	Central de Podas e Entulho
	Madre de Deus/BA	46	Aterro Integrado Camaçari / Dias D'Ávila
	Salvador/BA	24.111	Central de Podas
	Caucaia/CE	1.355	Aterro Metropolitano da ASMOC
CE	Fortaleza/CE	33.177	Aterro Metropolitano da ASMOC
	Sobral/CE	13.471	Aterro Sanitário de Sobral
ES	Vitória/ES	4.229	Unidade de Transbordo
	Alexânia/GO	120	Alexânia - GO
	Ipameri/GO	300	Aterro Controlado de Ipameri
GO	Nerópolis/GO	1.000	Aterro Sanitário controlado de Nerópolis
	Trindade/GO	12	Aterro Sanitário de Trindade
	Aparecida de Goiânia/GO	1.270	Aterro Sanitário
MA	Pinheiro/MA	60	Lixão
	Timon/MA	41	Aterro Sanitário
	Belo Horizonte/MG	9.241	Compostagem
	Carmo da Cachoeira/MG	200	Usina de Triagem e Compostagem de Lixo
	Conceição do Mato Dentro/MG	10	Aterro Controlado
	Contagem/MG	4.212	Aterro Sanitário Perobas
	Extrema/MG	20	Aterro Sanitário e Usina de Triagem
MG	Itabira/MG	1.200	Aterro Controlado
	Ituiutaba/MG	2.975	Central Trat. e Destino Final de Resíduos Sólidos
	Juiz de Fora/MG	1.363	Aterro Sanitário
	Maripá de Minas/MG	6	Usina de Lixo
	Paracatu/MG	10	Aterro Controlado de Paracatu
	Teófilo Otoni/MG	24	Aterro Controlado
MS	Corumbá/MS	4.038	Aterro Municipal de Corumbá
	Ladário/MS	921	Aterro Municipal de Corumbá

continua...

continuação

APÊNDICE A - Quantidade e Destinação de Resíduos de Poda Urbana Declarados no Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – Ano de Referência 2008 –

UF	Município	Resíduos de poda	
		Quantidade (t / ano)	Destinação
PA	Ananindeua/PA	12.530	Aterro Sanitário do Aurá
	Belém/PA	28.300	Aterro Sanitário do Aurá
	Itaituba/PA	1.469	Lixão Estrada de Barreiras
	Marabá/PA	504	Aterro Sanitário de Marabá
PB	João Pessoa/PB	26.987	Aterro Sanitário Metropolitano
	Monteiro/PB	160	Unidade de Reciclagem e Compostagem de Resíduos Sólidos
	Patos/PB	2.400	Terreno para Podas
PE	Camaragibe/PE	4.820	Aterro Controlado Céu Azul
	Olinda/PE	3.733	Aterro de Resíduos Sólidos de Aguazinha
	Recife/PE	21.960	Aterro da Muribeca
PR	Cianorte/PR	526	Aterro Sanitário SANEPAR
	Paranaguá/PR	3.700	Lixão do Imbocuí
	Santa Cecília do Pavão/PR	49	Aterro Sanitário
	Santo Antônio do Paraíso/PR	30	Lixão
	São José dos Pinhais/PR	569	MRM Mineração Ltda
	União da Vitória/PR	270	Aterro Sanitário Municipal
RJ	Barra Mansa/RJ	1.200	Lixão
	Macaé/RJ	657	Secretaria Municipal de Serviços Públicos
	Nova Friburgo/RJ	1.932	Aterro Controlado
	Rio de Janeiro/RJ	10.827	Aterro Gramacho
RN	João Câmara/RN	1	Liffe
	Natal/RN	32.283	Área de Destino Final da Cid. Nova
RO	Alta Floresta D'Oeste/RO	300	Lixão Municipal
	Ariquemes/RO	164	Lixão de Ariquemes
	Vilhena/RO	1.500	Lixão de Vilhena
RS	Ijuí/RS	750	Lixão de Ijuí
	Pelotas/RS	2.000	Aterro Colina do Sol
	Porto Alegre/RS	44.628	Central Serraria II
	Santa Maria/RS	50	Aterro da Gaturrita
	Santana do Livramento/RS	50	Rincão da Bolsa
	Torres/RS	180	Recivida
	Nossa Senhora da Glória/SE	220	Lixão
SE	Propriá/SE	60	Aterro Sanitário

continua...

continuação

APÊNDICE A - Quantidade e Destinação de Resíduos de Poda Urbana Declarados no Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – Ano de Referência 2008

UF	Município	Resíduos de poda	
		Quantidade (t / ano)	Destinação
SP	Guararema/SP	14	Aterro Sanitário
	Guarulhos/SP	900	Horto Municipal
	Itanhaém/SP	2.000	Parque Vergara
	Itu/SP	300	Aterro de Inertes
	Jacareí/SP	180	Aterro sanitário
	Jundiaí/SP	4.300	Manejo de Galhos
	Limeira/SP	4.257	Aterro Sanitário
	Rio Claro/SP	1.800	Área destinada a restos de Podas e Galhos
	Santa Bárbara d'Oeste/SP	7.000	Aterro Sanitário Municipal de Santa Bárbara d'Oeste
	São Paulo/SP	45.300	CDR PEDREIRA - Centro de Disposição de Resíduos Ltda
TO	Miracema do Tocantins/TO	576	Lixão
	Palmas/TO	36.712	Aterro Sanitário de Palmas

Fonte: (Elaborado a partir de SNSA, 2010b)

APÊNDICE B - Quantidade e Destinação de Resíduos de Poda Urbana declarados no Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - Ano de Referência 2007

UF	Município	Quantidade (t / ano)	Resíduos de poda
			Unidade de Processamento
AL	Maceió/AL	7.989	Lixão de Cruz das Almas /SLUM
	Itacoatiara/AM	5.500	Lixão Municipal
AM	Manaus/AM	3.551	Aterro do km 19
	Tabatinga/AM	24	Lixeira Municipal
AP	Macapá/AP	1.440	Aterro Controlado (Antigo Carapirás)
	Camaçari/BA	255	Aterro Integrado Camaçari / Dias D'Ávila
	Feira de Santana/BA	4.425	Aterro Sanitário de Feira de Santana
	Salvador/BA	7.950 ²⁹	Aterro Controlado de Canabrava
BA	Salvador/BA	7.800	Central de Podas
	Salvador/BA	150	Unidade de Compostagem
	Santo Antônio de Jesus/BA	60	Aterro Sanitário de Santo Antonio de Jesus
	Vera Cruz/BA	8	Aterro
	Caucaia/CE	32.644	Aterro Metropolitano da ASMOC
CE	Horizonte/CE	1.080	Unidade de Manejo de Galhadas ou Podas
	Sobral/CE	12.337	Aterro Sanitário de Sobral
ES	Vitória/ES	2.809	Unidade de Transbordo
GO	Aparecida de Goiânia/GO	1.313	Aterro Sanitário
	Ipameri/GO	100	Aterro Controlado de Ipameri
MA	Alcântara/MA	56	Lixão do Pavão
	Imperatriz/MA	2.369	Aterro Controlado
	Belo Horizonte/MG	909	Compostagem
	Betim/MG	2.400	Associação dos Catadores de Papel, Papelão e Materiais Recicláveis de Betim - Ascapel
MG	Contagem/MG	103.597	Aterro de Inertes - Bairro São Sebastião
	Juiz de Fora/MG	1.421	Aterro Sanitário
	Maripá de Minas/MG	2	Usina de Lixo
	Paracatu/MG	2.000	Aterro Controlado de Paracatu
MS	Ponta Porã/MS	390	Unidade de Reciclagem Cristo Rei
PA	Marabá/PA	537	Aterro Sanitário de Marabá
PB	Patos/PB	2.800	Terreno para Podas
PE	Petrolina/PE	967	Raso da Catarina
	Corrente/PI	40	Lixão de Corrente
	Teresina/PI	4.828	Aterro Sanitário
PI	Teresina/PI	25.292	Barreiro da Avenida São Francisco
	Teresina/PI	75.903	Barreiro dos Morros
	Teresina/PI	197.072	Barreiro Florença
	Teresina/PI	52.626	Barreiro Monte Verde – Mocambinho
PR	Cascavel/PR	1.100	Aterro Inerte
	Londrina/PR	3.744	Aterro Controlado

continua...

²⁹ Este valor foi desconsiderado na totalização da quantidade de resíduos de poda, pois foi considerado duas vezes (7.950t: 7.800 t para a Central de podas e 150 t para a unidade de compostagem, ambas alocadas no aterro Canabrava).

continuação

APÊNDICE B - Quantidade e Destinação de Resíduos de Poda Urbana declarados no Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - Ano de Referência 2007

UF	Município	Quantidade (t / ano)	Resíduos de poda
			Unidade de Processamento
RJ	Duque de Caxias/RJ	4.975	Área para entulho/mat. Cobert - Gramacho
	Niterói/RJ	2.590	Aterro Controlado do Morro do Céu
	Rio de Janeiro/RJ	979	Área para entulho/mat. Cobert CTR Gericinó
	São Gonçalo/RJ	461	Aterro de Itaoca - CTR Alcantara
	São Gonçalo/RJ	307	Central de podas e Galhadas
RN	Natal/RN	16.259	Área de Destino Final da Cid. Nova
RO	Alta Floresta D'Oeste/RO	300	Lixão Municipal
RS	Canoas/RS	12.000	Aterro de Inertes Jorge Lanner
	Pelotas/RS	1.000	Aterro Colina do Sol
	Porto Alegre/RS	34.659	Central Serraria II
SC	Blumenau/SC	440	Unidade de Transbordo
SE	Aracaju/SE	1.334	Aterro Controlado do Bairro Santa Maria
	Nossa Senhora da Glória/SE	20	Lixão
	Propriá/SE	60	Aterro Sanitário
	São Cristóvão/SE	3	Lixeira
SP	Bauru/SP	601	Valas Sépticas
	Jundiaí/SP	2.796	Manejo de Galhos
	Limeira/SP	2.400	Aterro Sanitário
	Penápolis/SP	631	Unidade de Manejo de Galhadas ou Podas
	Piracicaba/SP	1.600	Unidade de Transbordo
	São Paulo/SP	3.931	Aterro Bandeirantes
	São Paulo/SP	11.465	Aterro São João
	São Paulo/SP	21.406	CDR PEDREIRA - Centro de Disposição de Resíduos Lt
TO	Araguaína/TO	5.000	Aterro de Resíduos Inertes
	Gurupi/TO	18.000	Agência Gurupiense de Desenvolvimento – AGD -
	Palmas/TO	36.960	Aterro Sanitário de Palmas

Fonte: (Elaborado a partir de SNSA, 2009)

APÊNDICE C - Usinas Termoeletricas a Biomassa em Operação no Brasil

Usina	UF	Município	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário
Laminados Triunfo	AC	Rio Branco	1.500	REG	100% para Laminados Triunfo Ltda.
Itacoatiara	AM	Itacoatiara	9.000	PIE	100% para BK Energia Itacoatiara Ltda
Comigo	GO	Carmo do Rio Verde	5.000	REG	100% para Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano
Natureza Limpa	MG	Unaí	1.000	REG	100% para TJMC Empreendimentos Ltda.
Sinop	MT	Sinop	6.000	APE	100% para Vitale Industrial Norte S/A
Araguassu		Porto Alegre do Norte	1.200	REG	100% para Araguassu Óleos Vegetais Indústria e Comércio Ltda
Egídio		Juruena	2.000	REG	100% para Serraria Egídio Ltda
Primavera do Leste		Primavera do Leste	8.000	APE	100% para Cargill Agrícola S.A.
Tramontina	PA	Belém	1.500	REG	100% para Tramontina Belém S/A.
Pampa		Belém	400	REG	100% para Pampa Exportações Ltda

continua...

continuação

APÊNDICE C - Usinas Termoeletricas a Biomassa em Operação no Brasil

Usina	UF	Município	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário
Miguel Forte	PR	União da Vitória	16.000	PIE	100% para Madeireira Miguel Forte S/A
Pizzatto		General Carneiro	2.000	REG	100% para Indústrias Pedro N. Pizzatto Ltda
Ecoluz		Guarapuava	12.330	PIE	100% para Ecoenergia Geração Termelétrica Ltda
Toledo		Toledo	3.000	PIE	100% para Sadia S/A
Dois Vizinhos		Dois Vizinhos	1.980	REG	100% para Sadia S/A
Winimport		Imbituva	11.500	PIE	100% para Usina Termoeletrica Winimport S/A
Pirai		Pirai do Sul	9.000	PIE	100% para Centrais Elétricas Salto Correntes Ltda
Energy Green		Carambei	5.000	REG	100% para E G Brasil Energia Ltda.
Santa Maria		Guarapuava	6.400	APE	100% para Santa Maria Companhia Papel e Celulose
Berneck		Araucária	12.000	PIE	100% para Berneck S.A, Painéis e Serrados
Bio Fuel	RR	São João da Baliza	4.800	REG	100% para Brasil Bio Fuels S.A.
Central Termelétrica de Geração (Forjasul)	RS	Encruzilhada do Sul	1.800	REG	100% para Forjasul Encruzilhada Indústria de Madeiras Ltda.
Piratini		Piratini	10.000	PIE	100% para Piratini Energia S/A

continua...

continuação

APÊNDICE C - Usinas Termoeletricas a Biomassa em Operação no Brasil

Usina	UF	Município	Potência Fiscalizada (kW)	Destino da Energia	Proprietário
Rigesa	SC	Três Barras	32.500	APE	100% para Rigesa Celulose Papel e Embalagens Ltda
Energia Madeiras		Canoinhas	4.000	REG	100% para Energia Madeiras – Industrial e Comercial Ltda.
Lages		Lages	28.000	PIE	100% para Lages Bioenergética Ltda
Rohden		Salete	3.500	REG	100% para Rohden Artefatos de Madeira Ltda
Battistella		Rio Negrinho	3.150	REG	100% para Battistella Indústria e Comércio Ltda
Terranova I		Rio Negrinho	3.000	REG	100% para Masisa Madeira Ltda.
Irani		Vargem Bonita	9.800	APE	100% para Celulose Irani S/A
Bragagnolo		Faxinal dos Guedes	1.200	REG	100% para Avelino Bragagnolo S/A Indústria e Comércio
Thermoazul		Tangará	4.700	REG	100% para Thermoazul - Usina de Energia Ltda.
Ripasa	SP	Limeira	53.480	APE	100% para Ripasa S/A - Celulose e Papel
PIE-RP		Ribeirão Preto	27.800	PIE	100% para PIE-RP Termoeletrica S/A
Gaseifamaz I		São Paulo	27	REG	100% para Biomass Users Network do Brasil

Legenda:

APE Autoprodução de Energia

PIE Produção Independente de Energia

REG Registro

Fonte: (Elaboração própria a partir de ANEEL, 2010)

APÊNDICE D - Exemplos Internacionais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos na Alemanha, Portugal e Itália

D.1 Alemanha – Região da Bavaria

O estado federal da Bavaria compreende sete distritos governamentais com área de 70.000 km² (19% do território alemão) com 12 milhões de habitantes (15% da população nacional) e geração de 6,3 milhões de toneladas de RSU em 2007. Destes 63% são materiais recicláveis e 37% são destinados à incineração. Após a reciclagem e tratamento térmico, 2,35 milhões de toneladas são consideradas lixo residual e só então são encaminhadas para os aterros (KOHLE, 2010). A Figura D.1 apresenta um comparativo entre as plantas de tratamento de resíduos sólidos do sistema de Gestão de Resíduos Sólidos da Bavaria em 1970 e 2007.

Figura D.1 - Comparativo das Plantas de Tratamento do sistema de Gestão de Resíduos Sólidos da Bavaria em 1970 e 2007

Fonte: (Kohler, 2010)

Nota-se que em 1970 não havia nenhum container ou pátio para materiais recicláveis, bem como plantas de triagem ou para resíduos de construção civil. Percebe-se um considerável aumento das plantas de compostagem (de três em 1970 para 321 em 2007), das usinas de recuperação de energia (dezesesseis em 2007 contra duas em 1970) e o incentivo para

a reciclagem (em 2007 eram 18.000 containers para este tipo de material). A redução dos aterros foi drástica (eram cinco mil em 1970 e apenas trinta e seis em 2007).

Os instrumentos para o encorajamento da reciclagem vão desde as informações públicas e para os consumidores por meio de Internet, imprensa escrita, rádio, televisão, agendas locais e exposições; consultoria em lixo: consultores locais para consumidores, cidadãos e empresas, compostagem, uso de materiais de segunda mão, regras administrativas (KOHLER, 2010).

As projeções de futuro incluem: implementação de nova diretiva do lixo da Comunidade Européia (introdução de mais medidas para evitar a geração de lixo especialmente políticas de integração de produtos, informações sobre resíduos e mercados para o lixo), criação de nova visão sobre o lixo, com foco como recurso e energia; otimização da gestão integrada como parte da proteção do clima (evitar metano por meio do não aterramento, tratamento otimizado dos restos de alimentos e separação e máximo reuso de materiais para substituir novos materiais) (KOHLER, 2010).

A prioridade máxima do gerenciamento de resíduos sólidos na Baviera foi criar mecanismos visando implementar processos de “não geração de resíduos” (com metas). Isto só foi possível após longa negociação com a indústria e o comércio, no que tange às questões de geração de resíduos e a responsabilidade pós-consumo (embalagens, retorno de produtos vencidos, periculosidade dos componentes, possibilidade do reuso no pós-consumo, etc.) e a sociedade organizada que participou ativamente, reformulando o comportamento de consumo.

O incentivo à realização de compostagem nas próprias residências e à instituição de ferramentas econômicas como, por exemplo, uma sobretaxa para produtos oferecidos em embalagens descartáveis de refrigerantes, são instrumentos para a promoção da minimização de resíduos. Os técnicos alemães ressaltaram a importância de uma contínua avaliação, manutenção e reformulação dos programas de forma a garantir sua efetividade destacando os programas de educação ambiental e a utilização dos recursos de mídia (SÃO PAULO, 2010).

O processo de reciclagem conduzido de forma econômica e auto-sustentável também tem grande importância, demandando um bom planejamento, bem como adaptações tecnológicas e logísticas para que sejam bem sucedidas.

A reciclagem dos resíduos gerados pelo comércio e pela indústria é de responsabilidade dos próprios setores. Leis federais obrigam ainda a indústria e o comércio a recolher e a reciclar alguns de seus produtos após o uso pelos consumidores tais como, embalagens, baterias e acumuladores, equipamentos eletro-eletrônicos, óleos lubrificantes, carros, etc. assim como a nova política nacional de resíduos sólidos brasileira.

A Baviera conta com 16 usinas de recuperação de energia a partir de resíduos domiciliares. Pelo fato de haver um alto grau de reciclagem, o resíduo sólido municipal bávaro a ser tratado tem alto poder calorífico (acima de 2.400 kcal/kg) de forma que está sempre associada à geração de energia ou vapor a ser utilizado em região próxima à instalação da unidade, como forma de reduzir custos de implantação e operação. De forma geral, os consumidores dessa energia estão localizados a, no máximo, 2,5 km de distância das unidades, mantendo dessa maneira, a perda de calor no transporte em níveis aceitáveis.

As cinzas e escórias, comparativamente às emissões atmosféricas, por sua reduzida quantidade e mobilidade, permitem a adoção de medidas de contenção relativamente mais simples, para seu controle e monitoramento.

Os aterros sanitários estão sendo desativados gradativamente, em toda a Alemanha. Esta tendência se deve à promulgação de regulamentos na Comunidade Européia e, também aos regulamentos alemães, mais restritivos que os da Comunidade. A regulamentação européia³⁰ determina que os países membros da comunidade européia devam definir uma estratégia nacional para a redução de resíduos biodegradáveis, com metas de 35%, 50%, e 75% de redução, a partir dos dados de 1995. A meta final deve ser alcançada em 15 anos após a adoção do regulamento pelo país membro e as etapas intermediárias são fixadas para o quinto e o oitavo ano.

A Diretiva nº 199/31/CE recomenda, também, que os aterros dos países membros não recebam resíduos líquidos, explosivos, corrosivos, oxidantes, inflamáveis, de serviços de saúde e pneus inservíveis inteiros. Na Alemanha está em vigor, desde meados de 2005, uma legislação que proíbe o recebimento de RSM com mais de 5% de materiais orgânicos, com exceção dos originados nos TMB, os quais podem chegar a 18%.

A Baviera tem uma longa experiência na compostagem, principalmente no meio rural, na utilização de restos vegetais e esterco animal. Existem algumas companhias privadas que fazem a compostagem de resíduos especiais, tais como restos de corte de vegetais (galhos, gravetos, gramas, restos de verduras, etc.) e restos de centros de distribuição de alimentos. Algumas destas empresas preocupam-se em ter um produto que possa ser manipulado sem luvas, não conter materiais perfurocortantes e, também, sem a presença significativa de produtos químicos que possam oferecer perigo para a pele de quem o manipula.

Os trabalhos desenvolvidos no âmbito do Projeto de Cooperação Técnica entre o Estado de São Paulo (Secretaria do Meio Ambiente) e o Governo do Estado da Baviera

³⁰ que pode ser acessada pelo endereço eletrônico http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/pt/oj/1999/l_182/l_18219990716pt00010019.pdf

(Secretaria do Meio Ambiente, Saúde Pública e de Proteção ao Consumidor), visando a adquirir conhecimentos sobre técnicas de gerenciamento e tratamento de resíduos sólidos, permitiram, por meio das missões de técnicos brasileiros à Alemanha e de técnicos Alemães ao Brasil, obter uma visão clara e bem definida sobre as tecnologias de tratamento e de disposição de resíduos sólidos urbanos, utilizadas no Estado da Baviera, que poderiam ser adotadas no Brasil, principalmente, no Estado de São Paulo. Permitiram, ainda, observar que o gerenciamento dos resíduos sólidos municipais naquele Estado, diferentemente do que ocorre na Baviera, está consolidado, com estratégias e metas muito bem definidas. As premissas de não geração, minimização, reuso e reciclagem de resíduos são discutidas no Estado da Baviera há muito tempo, porém, a sua aplicabilidade de forma mais efetiva depende da elaboração de legislações específicas. A responsabilidade pós-consumo dos fabricantes de um modo geral e a taxação de embalagens não recicláveis são instrumentos que já vem sendo discutidos, mas que também necessitam de regulamentação.

Fica claro que a implantação e o aprimoramento da educação ambiental são fundamentais para a conscientização da população quanto às premissas citadas anteriormente, de forma a permitir a implementação de um sistema de gerenciamento que conte com a participação voluntária dos cidadãos.

Com relação à utilização da recuperação de energia como solução para a questão dos resíduos sólidos domiciliares, as discussões ocorridas durante os seminários, as apresentações e as reuniões entre os técnicos brasileiros e alemães bem como, o verificado durante as visitas realizadas nas usinas de recuperação de energia em operação na Baviera, permitiram constatar que essa tecnologia é ambientalmente viável. As dúvidas e os questionamentos por parte dos técnicos brasileiros quanto às emissões gasosas e os resíduos sólidos gerados nesse processo de tratamento foram superados. Verificou-se que existem tecnologias eficientes para o controle dos diversos tipos de poluentes emitidos, inclusive para dioxinas e furanos.

Quanto aos padrões de emissão gasosa estabelecidos na legislação brasileira, esses são menos restritivos que os padrões alemães de forma que, com a tecnologia de recuperação de energia utilizada na Alemanha, os padrões nacionais poderão ser atendidos, apesar da diferente composição do resíduo domiciliar a ser tratado (Poder Calorífico Inferior – PCI menor devido à umidade). Ressalte-se que estão disponíveis no Brasil tecnologias para o controle dessas emissões gasosas.

D.2 Itália – Região da Brescia

De acordo com Cecconi (2010), a Itália gerou em 2009 cerca de 33 milhões de toneladas de resíduos urbanos com valor per capita de 1,51 kg/dia. O tratamento de tais resíduos prevê as seguintes possibilidades, que podem estar relacionadas ao TMB:

- Redução da produção dos resíduos (cultura contra a produção indiscriminada de resíduos) e reutilização.
- Coleta diferenciada com reciclagem.
- Aterros impermeabilizados e controlados com a possibilidade de utilização do biogás produzido por digestão aeróbia e anaeróbia (considerado apenas como sistema residual de acordo com a Diretiva Quadro 91/156/CEE da EU).
- Compostagem.
- Instalações de bioconversão por digestão aeróbia (gaseificadores) e anaeróbia (pirólisadores) com produção de óleo de pirólise e/ou de gás de síntese.
- Termovalorização.

O reciclo e a queima controlada ajudam na conservação do meio ambiente, porém nem todos os resíduos podem ser reciclados ou queimados. As novas iniciativas são orientadas para a redução dos resíduos e ao melhoramento da quantidade e qualidade da coleta seletiva.

A redução dos resíduos é obtida por meio de compostagem doméstica, pequenos mercados de troca dos objetos duráveis, recuperação dos computadores pessoais obsoletos, promoção do “escritório sustentável” e recuperação dos alimentos não vendidos nos supermercados.

A coleta seletiva prevê a separação de papel, vidro, plástico, latas, resíduos orgânicos, pneus, metais, eliminações verdes, aparelhos elétricos e eletrônicos, substâncias perigosas, pilhas e acumuladores elétricos.

Iniciativas específicas se referem à redução de embalagens, difusão do uso de fraldas higiênicas laváveis para recém-nascidos, reutilização de caixas para compras domésticas, campanhas de educação civil e escolar para melhorar os hábitos da população e difusão das informações.

A coleta é domiciliar para resíduos volumosos, de aparelhos elétricos e eletrônicos, de atividades comerciais e de serviços. Os contentores verdes são reservados à coleta das eliminações verdes, sendo o conteúdo levado para a compostagem. A coleta é itinerante para resíduos urbanos perigosos.

O termovalorizador é composto por três linhas de combustão (equipadas com forno a grelha móvel) com capacidade por linha de 33 t/h de resíduos sólidos urbanos ou biomassas. Possui sistema de controle para detecção e separação de substâncias radioativas. A temperatura de operação é superior a 1100 °C sendo o vapor superaquecido produzido com 70 bar e 460 °C. A potência térmica desenvolvida é de 276,6 MW com potências líquidas produzidas de 70 MW (elétrica) e 160 MW (térmica).

D.3 Portugal – Região do Grande Porto

A região do Grande Porto compreende oito municípios com área de 649 km² (1% do território de Portugal) com um milhão de habitantes (10% da população nacional) e geração de 511.170 toneladas de RSU em 2009 (12% da produção portuguesa de RSU) com coleta de 1,44 kg/hab/dia. A pegada carbônica em 2008 foi de 376.813 toneladas de CO₂ equivalente com captação de 378 k de CO₂ eq por habitante (LEITE, 2010). Esta região é atendida por um consórcio denominado Lipor cujo sistema integrado de gestão de resíduos sólidos envolve as etapas mostradas na Figura D.3.

Tal sistema possui quatro unidades operacionais:

1. Centro de triagem: além do centro em si, como apoio há: linha de triagem de resíduos verdes (flores) de cemitérios, plataformas de triagem de resíduos de parques e jardins, multimaterial (recicláveis) e de resíduos elétricos e eletrônicos.
2. Central de valorização orgânica: processamento de 60.000 toneladas de resíduos orgânicos por ano, com produção de aproximadamente 20.000 toneladas de composto, atendendo a parâmetros de qualidade
3. Central de valorização energética: tem capacidade instalada para tratar mil toneladas de resíduos por dia (em duas linhas de 500 toneladas por dia) produzindo cerca de 25 MWh de energia (suficiente para abastecer população de 150.000 habitantes).
4. Confinamento técnico: realizado no aterro sanitário de Maia, equipado com sistemas de impermeabilização e de drenagem de biogás e lixiviados e uma ETE por osmose reversa. É constituído por três células específicas para recebimento de cinzas, escórias e resíduos brutos.

Figura D.3 - Etapas do Sistema integrado de gestão de resíduos sólidos na Lipor

Fonte (Leite, 2010)

Também, de maneira semelhante ao Brasil, há preocupação com projetos sociais relacionados à gestão dos resíduos sólidos com o objetivo de promover a ocupação de pessoas desempregadas há muito tempo e pertencentes a grupos de risco em atividades relacionadas com a valorização e aproveitamento de resíduos como o Integra Podas (produção de lascas de madeira para jardins) e Integra Pré-Triagem (preparação de resíduos para o centro de triagem).

Interessante é o monitoramento do Projeto Lipor com pesquisa de opinião que é feita uma vez por ano, a qual engloba: caracterização da população (demográfica, socioeconômica, valores e estilos de vida), avaliação da qualidade dos serviços prestados, conhecimento e avaliação das campanhas de sensibilização e atitudes em relação ao ambiente, comportamentos e estilos de vida “verdes”.

APÊNDICE E - Roteiro para o Dimensionamento da Área de um Pátio de Compostagem

Fonte: (adaptado de PEREIRA NETO, 1996)

A área do pátio de compostagem (A_t) é função da quantidade de leiras a serem montadas (n) e de suas dimensões: altura (h); largura (l) e comprimento (L). Para leiras retangulares, a área da base da leira (A_b) é calculada pela Equação 1:

$$A_b = L \times l \quad \text{Equação (1)}$$

Conhecida a área da base da leira (A_b), é necessária área de folga (A_f) para revolvimento da leira igual à área da base (Equação 2):

$$A_f = A_b \quad \text{Equação (2)}$$

Portanto, a área ocupada pela leira (A_l) é a soma da área da base com a área de folga (Equação 3):

$$A_l = A_b + A_f \quad \text{Equação (3)}$$

Desta maneira, a área do pátio de compostagem (A_t) é calculada pela Equação (4), que insere coeficiente de segurança de 10% para circulação:

$$A_t = 1,1 (n \times A_l) \quad \text{Equação (4)}$$

APÊNDICE F - Cálculos Termodinâmicos da Central Termoelétrica

	Cenário 1		6.000 t/a	Resíduos de poda urbana				
	mR =		0,19 kg/s					
	PCI =		kJ/kg kJ/kg					
1	p1 = p4 =	101,00	kPa	interpolando na Tab de água saturada	h1 =	418,40	kJ/kg	
	x1 = 0							
2	p2 = p3 =	2.059,00	kPa	(21 kgf/cm ² = 2.059 kPa)	$h_2 = h_1 + \int_{p_1}^{p_2} v \cdot dp$			
	v	0,001	m3/kg					
	Bomba: Eficiencia de 24%				h2 =	420,36	kJ/kg	
	$\eta = 0,24$							
	Wreal = (h2 - h1)/ η				Wreal =	8,16	kJ/kg	
					h2 real=	426,56	kJ/kg	
3	p3 =	1915,24	kPa	interpolando na Tab de Vapor de água	h3 =	2.798,45	kJ/kg	
	p3 =	1,92	MPa	interpolando na Tab de Vapor de água	s3 =	6,3573	kJ/kg K	
	h3 =	2.798,45	kJ/kg					
	T3 =	210,16	°C					
4	p4 =	1,05 Bar(a)	kPa	interpolando na Tab de água saturada	sl4 =	1,30540	kJ/kg K	
	p4 =	101,00	kPa	interpolando na Tab de água saturada	sv4 =	7,3563	kJ/kg K	
	p4 =	0,1010	MPa		x4 =	0,687		
	s4 =s3 =	6,3573	kJ/kg K	interpolando na Tab de água saturada	hl4 =	418,51	kJ/kg	
				interpolando na Tab de água saturada	hv4 =	2.675,89	kJ/kg	
					h4 =	2.256,17	kJ/kg	
	Turbina: Eficiencia de 85%				Wiso =	542,28	kJ/kg	
	$\eta = 0,85$				Wreal =	460,94	kJ/kg	
	Wiso = (h3 - h4)				h4 real =	2.337,51	kJ/kg	
	Wreal = Wiso * η							

	$Q_{cald} = \eta \cdot mR \cdot PCI = mv \cdot (h_3 - h_2)$			Potencia da Turbina $W_t = - mv (h_4 - h_3)$		
	Caldeira: Eficiencia de 84%			Wt = 279 kW		
	$\eta = 0,84$					
	Qcald = 1.436,28 kJ/s					
	mv = 0,61 kg/s					
	mv = 2.179,95 kg/h					
	Eficiência Gerador 94,1 %					
	Eficiência Redutor 98 %					
	Potência bornes Gerador 257 kW					
	Operação 7.884 h/ano					
	FC 90%					
	Energia Elétrica Gerada 2.026 MWh/ano					
	Consumo Próprio 506 MWh/ano					
	Energia Elétrica Excedente 1.520 MWh/ano					
	0,34 MWh/t resíduo					
	337,70 kWh/t resíduo					
	0,34 kWh/kg resíduo					
	TQ = T3	210,16	483		(h3 - h4)	460,94 kJ/kg
	saída da caldeira	°C	K		(h2 - h1)	8,16 kJ/kg
					(h3 - h2)	2.371,89 kJ/kg
	TF = T1	80	353		η ciclo=	19%
	água de alimentação	°C	K		η max=	27%

Cenário 2	29.000 t/a	Resíduos de poda urbana
mR =	0,92 kg/s	
PCI =	8.987 kJ/kg	

1	p1 = p4 = 101,00 kPa x1 = 0	interpolando na Tab de água saturada -->	h1 = 418,40 kJ/kg
---	--------------------------------	--	-------------------

2	p2 = p3 = 3.922,66 kPa v 0,001 m3/kg Bomba: Eficiencia de 24% $\eta = 0,24$ Wreal = (h2 - h1)/ η	(42 kgf/cm ² = 4,12 MPa)	$h_2 = h_1 + \int_{p_1}^{p_2} v \cdot dp$ h2 = 422,22 kJ/kg Wreal = 15,92 kJ/kg h2 real = 434,33 kJ/kg
---	---	-------------------------------------	---

3	p3 = 3.648,07 kPa p3 = 3,65 MPa h3 = 3.214,89 kJ/kg T3 = 398,0 °C	interpolando na Tab de Vapor de água Super Aquecido interpolando na Tab de Vapor de água Super Aquecido	h3 = 3.214,89 kJ/kg s3 = 6,8117 kJ/kg K
---	--	--	--

4	p4 = 101,00 kPa p4 = 0,1010 MPa s4 = s3 = 6,8117 kJ/kg K	interpolando na Tab de água saturada interpolando na Tab de água saturada interpolando na Tab de água saturada interpolando na Tab de água saturada	sl4 = 1,3054 kJ/kg K sv4 = 7,3563 kJ/kg K x4 = 0,749 hl4 = 418,51 kJ/kg hv4 = 2.675,89 kJ/kg h4 = 2.421,47 kJ/kg
---	--	--	---

Turbina: Eficiencia de 85% $\eta = 0,85$ Wiso = (h3 - h4) Wreal = Wiso * η
--

Wiso = 793,42 kJ/kg
Wreal = 674,41 kJ/kg
h4 real = 2.540,49 kJ/kg

$Q_{cald} = \eta \cdot m_R \cdot PCI = m_v \cdot (h_3 - h_2)$	
Caldeira: Eficiência de 70%	
$\eta = 0,7$	
$Q_{cald} =$	5.785,01 kJ/s
$m_v =$	2,08 kg/s
$m_v =$	7.489,86 kg/h

Potencia da Turbina $W_t = - m_v (h_4 - h_3)$		
$W_t =$	1.403	kW

Eficiência Gerador	94%
Eficiência Redutor	98%
Perdas mancais turbinas	85 kW
Potência bornes Gerador	1209 kW

Operação	7.884	h/ano
FC	90%	

Energia Elétrica Gerada	9.532	MWh/ano
Consumo Próprio	953	MWh/ano
Energia Elétrica Excedente	8.579	MWh/ano

0,33 MWh/t resíduo
328,69 kWh/t resíduo
0,33 kWh/kg resíduo

$T_Q = T_3$	398,03	671
saída da caldeira	°C	K
$T_F = T_1$	80	353
água de alimentação	°C	K

$(h_3 - h_4)$	674,41	kJ/kg
$(h_2 - h_1)$	15,92	kJ/kg
$(h_3 - h_2)$	2.792,67	kJ/kg
$\eta_{ciclo} =$	24%	
$\eta_{max} =$	47%	

Cenário 3	40.000 t/a	Resíduos de poda urbana
mR =	1,27 kg/s	
PCI =	8.987 kJ/kg	

1	p1 = p4 = 101,00 kPa x1 = 0	interpolando na Tab de água saturada -->	h1 = 418,40 kJ/kg
---	--------------------------------	--	-------------------

2	p2 = p3 = 3.922,66 kPa v 0,001 m3/kg Bomba: Eficiencia de 24% $\eta = 0,24$ Wreal = (h2 - h1)/ η	(42 kgf/cm ² = 4,12 MPa)	$h_2 = h_1 + \int_{p_1}^{p_2} v \cdot dp$ h2 = 422,22 kJ/kg Wreal = 15,92 kJ/kg h2 real = 434,33 kJ/kg
---	---	-------------------------------------	---

3	p3 = 3.648,07 kPa p3 = 3,65 MPa h3 = 3.214,89 kJ/kg T3 = 398,0 °C	interpolando na Tab de Vapor de água Super Aquecido interpolando na Tab de Vapor de água Super Aquecido	h3 = 3.214,89 kJ/kg s3 = 6,8117 kJ/kg K
---	--	--	--

4	p4 = 101,00 kPa p4 = 0,1010 MPa s4 = s3 = 6,8117 kJ/kg K	interpolando na Tab de água saturada interpolando na Tab de água saturada interpolando na Tab de água saturada interpolando na Tab de água saturada	sl4 = 1,3054 kJ/kg K sv4 = 7,3563 kJ/kg K x4 = 0,749 hl4 = 418,51 kJ/kg hv4 = 2.675,89 kJ/kg h4 = 2.421,47 kJ/kg
---	--	--	---

Turbina: Eficiencia de 85% $\eta = 0,85$ Wiso = (h3 - h4) Wreal = Wiso * η
--

Wiso = 793,42 kJ/kg
Wreal = 674,41 kJ/kg
h4 real = 2.540,49 kJ/kg

$Q_{cald} = \eta \cdot m_R \cdot PCI = m_v \cdot (h_3 - h_2)$ Caldeira: Eficiência de 70% $\eta = \mathbf{0,7}$	
$Q_{cald} =$	7.979,33 kJ/s
$m_v =$	2,87 kg/s
$m_v =$	10.330,84 kg/h

Potencia da Turbina $W_t = - m_v (h_4 - h_3)$		
$W_t =$	1.935	kW

Eficiência Gerador	94%
Eficiência Redutor	98%
Perdas mancais turbinas	85 kW
Potência bornes Gerador	1700 kW

Operação	7.884	h/ano
FC	90%	

Energia Elétrica Gerada	13.403	MWh/ano
Consumo Próprio	1.340	MWh/ano
Energia Elétrica Excedente	12.063	MWh/ano

0,34 MWh/t resíduo
335,08 kWh/t resíduo
0,34 kWh/kg resíduo

$T_Q = T_3$	398,03	671
saída da caldeira	°C	K
$T_F = T_1$	80	353
água de alimentação	°C	K

$(h_3 - h_4)$	674,41	kJ/kg
$(h_2 - h_1)$	15,92	kJ/kg
$(h_3 - h_2)$	2.792,67	kJ/kg
$\eta_{ciclo} =$	24%	
$\eta_{max} =$	47%	

APÊNDICE G - Análise Econômica da Central Termoeletrica

G.1 CENÁRIO 1

INVESTIMENTOS		
Equipamentos	Descrição	Custo (R\$)
Caldeira	Caldeira + periféricos	R\$ 698.500,00
	Automação	R\$ 150.000,00
	Montagem + supervisão + estadia + alimentação + deslocamento	R\$ 123.500,00
	Munck e guindastes	R\$ 100.000,00
	Transporte Pouso Redondo (SC) até RMSP (SP)	R\$ 80.000,00
	Instalação elétrica	R\$ 100.000,00
	Rede de ar comprimido	R\$ 100.000,00
	Tubulação interligação de vapor e retorno de condensado	R\$ 100.000,00
Gerador	Gerador + <i>start up</i>	R\$ 124.150,00
	Quadros elétricos + <i>start up</i>	R\$ 72.400,00
	munck e guindastes	R\$ 100.000,00
Turbina	Turbina + redutor + condensador + painel + transporte + acessórios	R\$ 385.000,00
	Montagem + supervisão + estadia + alimentação + deslocamento	R\$ 94.250,00
	Munck e guindastes	R\$ 100.000,00
Triturador	Lippel PTL 300/600 + transporte	R\$ 200.000,00
Sistema Tratamento de Água	Equipamento + transporte	R\$ 200.000,00
Obras	Completa: escritório + vestiário + casa de máquinas	R\$ 300.000,00
TOTAL GERAL		R\$ 3.027.800,00

RECEITAS ANUAIS	
Receita com Geração de Energia	R\$ 258.400,00
TOTAL	R\$ 258.400,00

DESPESAS ANUAIS	
Custo com Operação e Manutenção	R\$ 45.417,00
Custo com Depreciação	R\$ 151.390,00
TOTAL	R\$ 196.807,00

RECEITAS ANUAIS – DESPESAS ANUAIS	R\$ 61.593,00
IMPOSTOS E TAXAS	R\$ 20.941,62

RECEITA LÍQUIDA ANUAL	R\$ 192.041,38
-----------------------	----------------

	Taxa de Desconto		5%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 3.027.800,00	-R\$ 3.027.800,00	-R\$ 3.027.800,00
1	R\$ 192.041,38	R\$ 182.896,55	-R\$ 2.844.903,45
2	R\$ 192.041,38	R\$ 174.187,19	-R\$ 2.670.716,25
3	R\$ 192.041,38	R\$ 165.892,56	-R\$ 2.504.823,69
4	R\$ 192.041,38	R\$ 157.992,92	-R\$ 2.346.830,77
5	R\$ 192.041,38	R\$ 150.469,45	-R\$ 2.196.361,33
6	R\$ 192.041,38	R\$ 143.304,23	-R\$ 2.053.057,09
7	R\$ 192.041,38	R\$ 136.480,22	-R\$ 1.916.576,87
8	R\$ 192.041,38	R\$ 129.981,17	-R\$ 1.786.595,70
9	R\$ 192.041,38	R\$ 123.791,59	-R\$ 1.662.804,12
10	R\$ 192.041,38	R\$ 117.896,75	-R\$ 1.544.907,37
	VPL EM 10 ANOS		-R\$ 1.544.907,37

	Taxa de Desconto		10%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 3.027.800,00	-R\$ 3.027.800,00	-R\$ 3.027.800,00
1	R\$ 192.041,38	R\$ 174.583,07	-R\$ 2.853.216,93
2	R\$ 192.041,38	R\$ 158.711,88	-R\$ 2.694.505,04
3	R\$ 192.041,38	R\$ 144.283,53	-R\$ 2.550.221,51
4	R\$ 192.041,38	R\$ 131.166,85	-R\$ 2.419.054,67
5	R\$ 192.041,38	R\$ 119.242,59	-R\$ 2.299.812,08
6	R\$ 192.041,38	R\$ 108.402,35	-R\$ 2.191.409,73
7	R\$ 192.041,38	R\$ 98.547,59	-R\$ 2.092.862,13
8	R\$ 192.041,38	R\$ 89.588,72	-R\$ 2.003.273,41
9	R\$ 192.041,38	R\$ 81.444,29	-R\$ 1.921.829,12
10	R\$ 192.041,38	R\$ 74.040,27	-R\$ 1.847.788,85
	VPL EM 10 ANOS		-R\$ 1.847.789

G.2 CENÁRIO 2

INVESTIMENTOS		
Equipamentos	Descrição	Custo (R\$)
Caldeira	Caldeira + periféricos	R\$ 1.700.000,00
	Automação	R\$ 300.000,00
	Montagem + supervisão + estadia + alimentação + deslocamento	R\$ 123.500,00
	Munck e guindastes	R\$ 120.000,00
	Transporte Pouso Redondo (SC) até RMSP (SP)	R\$ 200.000,00
	Instalação elétrica	R\$ 100.000,00
	Rede de ar comprimido	R\$ 100.000,00
	Tubulação interligação de vapor e retorno de condensado	R\$ 100.000,00
Gerador	Gerador + <i>start up</i>	R\$ 248.300,00
	Quadros elétricos + <i>start up</i>	R\$ 144.800,00
	Munck e guindastes	R\$ 100.000,00
Turbina	Turbina + redutor + condensador + painel + transporte + acessórios	R\$ 770.000,00
	Montagem + supervisão + estadia + alimentação + deslocamento	R\$ 145.000,00
	Munck e guindastes	R\$ 100.000,00
Triturador	Bruno + transporte	R\$ 800.000,00
Sistema Tratamento de Água	Equipamento + transporte	R\$ 200.000,00
Obras	Completa: escritório + vestiário + casa de máquinas	R\$ 500.000,00
TOTAL GERAL		R\$ 5.751.600,00

RECEITAS ANUAIS	
Receita com Geração de Energia	R\$ 1.458.430,00
TOTAL	R\$ 1.458.430,00

DESPESAS ANUAIS	
Custo com Operação e Manutenção	R\$ 86.274,00
Custo com Depreciação	R\$ 287.580,00
TOTAL	R\$ 373.854,00

RECEITAS ANUAIS – DESPESAS ANUAIS	R\$ 1.084.576,00
IMPOSTOS E TAXAS	R\$ 368.755,84

RECEITA LÍQUIDA ANUAL	R\$ 1.003.400,16
-----------------------	------------------

	Taxa de Desconto		5%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 5.751.600,00	-R\$ 5.751.600,00	-R\$ 5.751.600,00
1	R\$ 1.003.400,16	R\$ 955.619,20	-R\$ 4.795.980,80
2	R\$ 1.003.400,16	R\$ 910.113,52	-R\$ 3.885.867,28
3	R\$ 1.003.400,16	R\$ 866.774,78	-R\$ 3.019.092,49
4	R\$ 1.003.400,16	R\$ 825.499,79	-R\$ 2.193.592,70
5	R\$ 1.003.400,16	R\$ 786.190,28	-R\$ 1.407.402,42
6	R\$ 1.003.400,16	R\$ 748.752,65	-R\$ 658.649,77
7	R\$ 1.003.400,16	R\$ 713.097,76	R\$ 54.447,99
8	R\$ 1.003.400,16	R\$ 679.140,72	R\$ 733.588,72
9	R\$ 1.003.400,16	R\$ 646.800,69	R\$ 1.380.389,41
10	R\$ 1.003.400,16	R\$ 616.000,66	R\$ 1.996.390,06
VPL EM 10 ANOS			R\$ 1.996.390,06
TIR EM 10 ANOS			11,65%
Taxa de Desconto			5%
PB simples			5,7
PB descontado			7,4

	Taxa de Desconto		10%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 5.751.600,00	-R\$ 5.751.600,00	-R\$ 5.751.600,00
1	R\$ 1.003.400,16	R\$ 912.181,96	-R\$ 4.839.418,04
2	R\$ 1.003.400,16	R\$ 829.256,33	-R\$ 4.010.161,71
3	R\$ 1.003.400,16	R\$ 753.869,39	-R\$ 3.256.292,31
4	R\$ 1.003.400,16	R\$ 685.335,81	-R\$ 2.570.956,50
5	R\$ 1.003.400,16	R\$ 623.032,55	-R\$ 1.947.923,95
6	R\$ 1.003.400,16	R\$ 566.393,23	-R\$ 1.381.530,72
7	R\$ 1.003.400,16	R\$ 514.902,94	-R\$ 866.627,78
8	R\$ 1.003.400,16	R\$ 468.093,58	-R\$ 398.534,20
9	R\$ 1.003.400,16	R\$ 425.539,62	R\$ 27.005,42
10	R\$ 1.003.400,16	R\$ 386.854,20	R\$ 413.859,62
VPL EM 10 ANOS			R\$ 413.859,62
TIR EM 10 ANOS			11,65%
Taxa de Desconto			10%
PB simples			5,7
PB descontado			9,3

Σ VPL	TIR
R\$ 3.261.527,23	2%
R\$ 2.386.874,12	4%
R\$ 1.633.512,53	6%
R\$ 981.296,75	8%
-R\$ 7,09	11,65%
-R\$ 82.165,31	12%
-R\$ 517.748,73	14%
-R\$ 831.421,50	16%
-R\$ 1.242.233,09	18%

G.3 CENÁRIO 3

INVESTIMENTOS		
Equipamentos	Descrição	Custo (R\$)
Caldeira	Caldeira + periféricos	R\$ 1.700.000,00
	Automação	R\$ 300.000,00
	Montagem + supervisão + estadia + alimentação + deslocamento	R\$ 123.500,00
	<i>Munck</i> e guindastes	R\$ 120.000,00
	Transporte Pouso Redondo (SC) até RMSP (SP)	R\$ 200.000,00
	Instalação elétrica	R\$ 100.000,00
	Rede de ar comprimido	R\$ 100.000,00
	Tubulação interligação de vapor e retorno de condensado	R\$ 100.000,00
Gerador	Gerador + <i>start up</i>	R\$ 248.300,00
	Quadros elétricos + <i>start up</i>	R\$ 144.800,00
	<i>Munck</i> e guindastes	R\$ 100.000,00
Turbina	Turbina + redutor + condensador + painel + transporte + acessórios	R\$ 770.000,00
	Montagem + supervisão + estadia + alimentação + deslocamento	R\$ 145.000,00
	<i>Munck</i> e guindastes	R\$ 100.000,00
Triturador	Demuth + transporte	R\$ 1.000.000,00
Sistema Tratamento de Água	Equipamento + transporte	R\$ 200.000,00
Obras	Completa: escritório + vestiário + casa de máquinas +	R\$ 500.000,00
TOTAL GERAL		R\$ 5.951.600,00

RECEITAS ANUAIS	
Receita com Geração de Energia	R\$ 2.050.710,00
TOTAL	R\$ 2.050.710,00

DESPESAS ANUAIS	
Custo com Operação e Manutenção	R\$ 89.274,00
Custo com Depreciação	R\$ 297.580,00
TOTAL	R\$ 386.584,00

RECEITAS ANUAIS – DESPESAS ANUAIS	R\$ 1.663.856,00
IMPOSTOS E TAXAS	R\$ 565.711,04

RECEITA LÍQUIDA ANUAL	R\$ 1.395.724,96
-----------------------	------------------

ano	Taxa de Desconto		5%
	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 5.951.600,00	-R\$ 5.951.600,00	-R\$ 5.951.600,00
1	R\$ 1.395.724,96	R\$ 1.329.261,87	-R\$ 4.622.338,13
2	R\$ 1.395.724,96	R\$ 1.265.963,68	-R\$ 3.356.374,45
3	R\$ 1.395.724,96	R\$ 1.205.679,70	-R\$ 2.150.694,75
4	R\$ 1.395.724,96	R\$ 1.148.266,38	-R\$ 1.002.428,37
5	R\$ 1.395.724,96	R\$ 1.093.587,03	R\$ 91.158,65
6	R\$ 1.395.724,96	R\$ 1.041.511,45	R\$ 1.132.670,11
7	R\$ 1.395.724,96	R\$ 991.915,67	R\$ 2.124.585,78
8	R\$ 1.395.724,96	R\$ 944.681,59	R\$ 3.069.267,37
9	R\$ 1.395.724,96	R\$ 899.696,75	R\$ 3.968.964,12
10	R\$ 1.395.724,96	R\$ 856.854,05	R\$ 4.825.818,18
VPL EM 10 ANOS			R\$ 4.825.818
TIR EM 10 ANOS			19,50%
Taxa de Desconto			5%
PB simples			4,3
PB descontado			5,5

ano	Taxa de Desconto		10%
	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 5.951.600,00	-R\$ 5.951.600,00	-R\$ 5.951.600,00
1	R\$ 1.395.724,96	R\$ 1.268.840,87	-R\$ 4.682.759,13
2	R\$ 1.395.724,96	R\$ 1.153.491,70	-R\$ 3.529.267,42
3	R\$ 1.395.724,96	R\$ 1.048.628,82	-R\$ 2.480.638,60
4	R\$ 1.395.724,96	R\$ 953.298,93	-R\$ 1.527.339,68
5	R\$ 1.395.724,96	R\$ 866.635,39	-R\$ 660.704,29
6	R\$ 1.395.724,96	R\$ 787.850,35	R\$ 127.146,07
7	R\$ 1.395.724,96	R\$ 716.227,59	R\$ 843.373,66
8	R\$ 1.395.724,96	R\$ 651.115,99	R\$ 1.494.489,65
9	R\$ 1.395.724,96	R\$ 591.923,63	R\$ 2.086.413,29
10	R\$ 1.395.724,96	R\$ 538.112,39	R\$ 2.624.525,68
VPL EM 10 ANOS			R\$ 2.624.526
TIR EM 10 ANOS			19,50%
Taxa de Desconto			10%
PB simples			4,3
PB descontado			6,9

Σ VPL	TIR
R\$ 6.585.618,10	2%
R\$ 5.368.979,69	4%
R\$ 4.321.057,21	6%
R\$ 3.413.828,09	8%
R\$ 2.624.525,68	10%
R\$ 1.934.557,31	12%
R\$ 1.328.662,80	14%
R\$ 794.256,23	16%
R\$ 688,81	19,50%
-R\$ 100.062,07	20%
-R\$ 475.913,70	22%

APÊNDICE H - Análise Econômica dos Cenários da Planta de Digestão Anaeróbia

H.1 CENÁRIO 2

RECEITAS ANUAIS	
Receita com Geração de Energia	R\$ 1.014.390,00
Receita com Venda de Composto	R\$ 3.480.000,00
TOTAL	R\$ 4.494.390,00

DESPESAS ANUAIS	
Custo com Operação e Manutenção	R\$ 450.000,00
Custo com Depreciação	R\$ 1.500.000,00
TOTAL	R\$ 1.950.000,00

LAIR	R\$ 2.544.930,00
Impostos	R\$ 865.092,00

RECEITA LÍQUIDA ANUAL	R\$ 3.179.297,90
-----------------------	------------------

	Taxa de Desconto		5%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 30.000.000,00	-R\$ 30.000.000,00	-R\$ 30.000.000,00
1	R\$ 3.179.297,40	R\$ 3.027.902,29	-R\$ 26.972.097,71
2	R\$ 3.179.297,40	R\$ 2.883.716,46	-R\$ 24.088.381,25
3	R\$ 3.179.297,40	R\$ 2.746.396,63	-R\$ 21.341.984,62
4	R\$ 3.179.297,40	R\$ 2.615.615,84	-R\$ 18.726.368,78
5	R\$ 3.179.297,40	R\$ 2.491.062,70	-R\$ 16.235.306,08
6	R\$ 3.179.297,40	R\$ 2.372.440,67	-R\$ 13.862.865,41
7	R\$ 3.179.297,40	R\$ 2.259.467,31	-R\$ 11.603.398,10
8	R\$ 3.179.297,40	R\$ 2.151.873,62	-R\$ 9.451.524,48
9	R\$ 3.179.297,40	R\$ 2.049.403,45	-R\$ 7.402.121,03
10	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.951.812,81	-R\$ 5.450.308,22
11	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.858.869,34	-R\$ 3.591.438,87
12	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.770.351,76	-R\$ 1.821.087,12
13	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.686.049,29	-R\$ 135.037,83
14	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.605.761,23	R\$ 1.470.723,40
15	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.529.296,41	R\$ 3.000.019,81
16	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.456.472,77	R\$ 4.456.492,58
17	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.387.116,92	R\$ 5.843.609,51
18	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.321.063,74	R\$ 7.164.673,25
19	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.258.155,94	R\$ 8.422.829,19
20	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.198.243,75	R\$ 9.621.072,94
	VPL EM 20 ANOS		R\$ 9.621.072,94
	TIR EM 20 ANOS		8,75%
	Taxa de Desconto		5%
	PB simples		9,4
	PB descontado		15,1

	Taxa de Desconto		10 %
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 30.000.000,00	-R\$ 30.000.000,00	-R\$ 30.000.000,00
1	R\$ 3.179.297,40	R\$ 2.890.270,36	-R\$ 27.109.729,64
2	R\$ 3.179.297,40	R\$ 2.627.518,51	-R\$ 24.482.211,12
3	R\$ 3.179.297,40	R\$ 2.388.653,19	-R\$ 22.093.557,93
4	R\$ 3.179.297,40	R\$ 2.171.502,90	-R\$ 19.922.055,03
5	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.974.093,55	-R\$ 17.947.961,48
6	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.794.630,50	-R\$ 16.153.330,98
7	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.631.482,27	-R\$ 14.521.848,71
8	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.483.165,70	-R\$ 13.038.683,01
9	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.348.332,46	-R\$ 11.690.350,55
10	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.225.756,78	-R\$ 10.464.593,78
11	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.114.324,34	-R\$ 9.350.269,43
12	R\$ 3.179.297,40	R\$ 1.013.022,13	-R\$ 8.337.247,30
13	R\$ 3.179.297,40	R\$ 920.929,21	-R\$ 7.416.318,09
14	R\$ 3.179.297,40	R\$ 837.208,37	-R\$ 6.579.109,72
15	R\$ 3.179.297,40	R\$ 761.098,52	-R\$ 5.818.011,20
16	R\$ 3.179.297,40	R\$ 691.907,75	-R\$ 5.126.103,46
17	R\$ 3.179.297,40	R\$ 629.007,04	-R\$ 4.497.096,41
18	R\$ 3.179.297,40	R\$ 571.824,58	-R\$ 3.925.271,83
19	R\$ 3.179.297,40	R\$ 519.840,53	-R\$ 3.405.431,30
20	R\$ 3.179.297,40	R\$ 472.582,30	-R\$ 2.932.849,00
	VPL EM 20 ANOS		-R\$ 2.932.849
	TIR EM 20 ANOS		8,75%
	Taxa de Desconto		10 %
	PB simples		9,4
	PB descontado		22,2

H. 2 CENÁRIO 3

RECEITAS ANUAIS	
Receita com Geração de Energia	R\$ 1.399.100,00
Receita com Venda de Composto	R\$ 4.800.000,00
TOTAL	R\$ 6.199.100,00

DESPESAS ANUAIS	
Custo com Operação e Manutenção	R\$ 600.000,00
Custo com Depreciação	R\$ 2.000.000,00
TOTAL	R\$ 2.600.000,00

LAIR	R\$ 3.599.100,00
Impostos	R\$ 1.223.694,00

RECEITA LÍQUIDA ANUAL	R\$ 4.375.406,00
-----------------------	------------------

ano	Taxa de Desconto		5%
	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 40.000.000,00	-R\$ 40.000.000,00	-R\$ 40.000.000,00
1	R\$ 4.375.406,00	R\$ 4.167.053,33	-R\$ 35.832.946,67
2	R\$ 4.375.406,00	R\$ 3.968.622,22	-R\$ 31.864.324,44
3	R\$ 4.375.406,00	R\$ 3.779.640,21	-R\$ 28.084.684,23
4	R\$ 4.375.406,00	R\$ 3.599.657,34	-R\$ 24.485.026,89
5	R\$ 4.375.406,00	R\$ 3.428.245,09	-R\$ 21.056.781,80
6	R\$ 4.375.406,00	R\$ 3.264.995,32	-R\$ 17.791.786,47
7	R\$ 4.375.406,00	R\$ 3.109.519,36	-R\$ 14.682.267,12
8	R\$ 4.375.406,00	R\$ 2.961.447,01	-R\$ 11.720.820,11
9	R\$ 4.375.406,00	R\$ 2.820.425,72	-R\$ 8.900.394,39
10	R\$ 4.375.406,00	R\$ 2.686.119,73	-R\$ 6.214.274,66
11	R\$ 4.375.406,00	R\$ 2.558.209,27	-R\$ 3.656.065,39
12	R\$ 4.375.406,00	R\$ 2.436.389,78	-R\$ 1.219.675,61
13	R\$ 4.375.406,00	R\$ 2.320.371,22	R\$ 1.100.695,61
14	R\$ 4.375.406,00	R\$ 2.209.877,35	R\$ 3.310.572,96
15	R\$ 4.375.406,00	R\$ 2.104.645,10	R\$ 5.415.218,06
16	R\$ 4.375.406,00	R\$ 2.004.423,90	R\$ 7.419.641,96
17	R\$ 4.375.406,00	R\$ 1.908.975,14	R\$ 9.328.617,10
18	R\$ 4.375.406,00	R\$ 1.818.071,57	R\$ 11.146.688,67
19	R\$ 4.375.406,00	R\$ 1.731.496,73	R\$ 12.878.185,40
20	R\$ 4.375.406,00	R\$ 1.649.044,50	R\$ 14.527.229,91
VPL EM 20 ANOS			R\$ 14.527.230
TIR EM 20 ANOS			9,46%
Taxa de Desconto			5%
PB simples			9,1
PB descontado			14,7

	Taxa de Desconto		10 %
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 40.000.000,00	-R\$ 40.000.000,00	-R\$ 40.000.000,00
1	R\$ 4.375.406,00	R\$ 3.977.641,82	-R\$ 36.022.358,18
2	R\$ 4.375.406,00	R\$ 3.616.038,02	-R\$ 32.406.320,17
3	R\$ 4.375.406,00	R\$ 3.287.307,29	-R\$ 29.119.012,88
4	R\$ 4.375.406,00	R\$ 2.988.461,17	-R\$ 26.130.551,71
5	R\$ 4.375.406,00	R\$ 2.716.782,88	-R\$ 23.413.768,82
6	R\$ 4.375.406,00	R\$ 2.469.802,62	-R\$ 20.943.966,20
7	R\$ 4.375.406,00	R\$ 2.245.275,11	-R\$ 18.698.691,09
8	R\$ 4.375.406,00	R\$ 2.041.159,19	-R\$ 16.657.531,90
9	R\$ 4.375.406,00	R\$ 1.855.599,26	-R\$ 14.801.932,64
10	R\$ 4.375.406,00	R\$ 1.686.908,42	-R\$ 13.115.024,22
11	R\$ 4.375.406,00	R\$ 1.533.553,11	-R\$ 11.581.471,11
12	R\$ 4.375.406,00	R\$ 1.394.139,19	-R\$ 10.187.331,92
13	R\$ 4.375.406,00	R\$ 1.267.399,27	-R\$ 8.919.932,65
14	R\$ 4.375.406,00	R\$ 1.152.181,15	-R\$ 7.767.751,50
15	R\$ 4.375.406,00	R\$ 1.047.437,41	-R\$ 6.720.314,09
16	R\$ 4.375.406,00	R\$ 952.215,83	-R\$ 5.768.098,27
17	R\$ 4.375.406,00	R\$ 865.650,75	-R\$ 4.902.447,51
18	R\$ 4.375.406,00	R\$ 786.955,23	-R\$ 4.115.492,29
19	R\$ 4.375.406,00	R\$ 715.413,84	-R\$ 3.400.078,44
20	R\$ 4.375.406,00	R\$ 650.376,22	-R\$ 2.749.702,22
	VPL EM 20 ANOS		-R\$ 2.749.702
	TIR EM 20 ANOS		9,46 %
	PB simples		9,1
	PB descontado		21,5

APÊNDICE I - Análise Econômica da Usina de Compostagem

I.1 CENÁRIO 1

INVESTIMENTOS	Valor
Triturador	R\$ 200.000,00
Obras civis	R\$ 500.000,00
Túneis de vento	R\$ 30.000,00
Sistema de Bombeamento	R\$ 55.000,00
Trator	R\$ 150.000,00
Total	R\$ 935.000,00

RECEITAS ANUAIS	
Receita com Venda de Composto	R\$ 300.000,00
TOTAL	R\$ 300.000,00

DESPESAS ANUAIS	
Custo com Operação e Manutenção	R\$ 187.000,00
Custo com Depreciação	R\$ 46.750,00
TOTAL	R\$ 233.750,00

LAIR	R\$ 66.250,00
Impostos	R\$ 22.525,00

RECEITA LÍQUIDA ANUAL	R\$ 90.475,00
-----------------------	---------------

	Taxa de Desconto		5%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 935.000,00	-R\$ 935.000,00	-R\$ 935.000,00
1	R\$ 90.475,00	R\$ 86.166,67	-R\$ 848.833,33
2	R\$ 90.475,00	R\$ 82.063,49	-R\$ 766.769,84
3	R\$ 90.475,00	R\$ 78.155,71	-R\$ 688.614,13
4	R\$ 90.475,00	R\$ 74.434,01	-R\$ 614.180,13
5	R\$ 90.475,00	R\$ 70.889,53	-R\$ 543.290,60
6	R\$ 90.475,00	R\$ 67.513,84	-R\$ 475.776,76
7	R\$ 90.475,00	R\$ 64.298,89	-R\$ 411.477,87
8	R\$ 90.475,00	R\$ 61.237,04	-R\$ 350.240,83
9	R\$ 90.475,00	R\$ 58.320,99	-R\$ 291.919,83
10	R\$ 90.475,00	R\$ 55.543,80	-R\$ 236.376,03
	VPL EM 10 ANOS		-R\$ 236.376,03
	TIR EM 20 ANOS		6,21%
	Taxa de Desconto		5,00%
	PB simples		10,3
	PB descontado		13,4
	Taxa de Desconto		10%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 935.000,00	-R\$ 935.000,00	-R\$ 935.000,00
1	R\$ 90.475,00	R\$ 82.250,00	-R\$ 852.750,00
2	R\$ 90.475,00	R\$ 74.772,73	-R\$ 777.977,27
3	R\$ 90.475,00	R\$ 67.975,21	-R\$ 710.002,07
4	R\$ 90.475,00	R\$ 61.795,64	-R\$ 648.206,42
5	R\$ 90.475,00	R\$ 56.177,86	-R\$ 592.028,57
6	R\$ 90.475,00	R\$ 51.070,78	-R\$ 540.957,79
7	R\$ 90.475,00	R\$ 46.427,98	-R\$ 494.529,81
8	R\$ 90.475,00	R\$ 42.207,26	-R\$ 452.322,55
9	R\$ 90.475,00	R\$ 38.370,23	-R\$ 413.952,32
10	R\$ 90.475,00	R\$ 34.882,03	-R\$ 379.070,29
	TIR EM 20 ANOS		-R\$ 379.070
	TIR EM 10 ANOS		24%
	Taxa de Desconto		10%
	PB simples		10,3
	PB descontado		16,8

	Taxa de Desconto		5%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 935.000,00	-R\$ 935.000,00	-R\$ 935.000,00
1	R\$ 90.475,00	R\$ 86.166,67	-R\$ 848.833,33
2	R\$ 90.475,00	R\$ 82.063,49	-R\$ 766.769,84
3	R\$ 90.475,00	R\$ 78.155,71	-R\$ 688.614,13
4	R\$ 90.475,00	R\$ 74.434,01	-R\$ 614.180,13
5	R\$ 90.475,00	R\$ 70.889,53	-R\$ 543.290,60
6	R\$ 90.475,00	R\$ 67.513,84	-R\$ 475.776,76
7	R\$ 90.475,00	R\$ 64.298,89	-R\$ 411.477,87
8	R\$ 90.475,00	R\$ 61.237,04	-R\$ 350.240,83
9	R\$ 90.475,00	R\$ 58.320,99	-R\$ 291.919,83
10	R\$ 90.475,00	R\$ 55.543,80	-R\$ 236.376,03
11	R\$ 90.475,00	R\$ 52.898,86	-R\$ 183.477,17
12	R\$ 90.475,00	R\$ 50.379,87	-R\$ 133.097,31
13	R\$ 90.475,00	R\$ 47.980,82	-R\$ 85.116,48
14	R\$ 90.475,00	R\$ 45.696,02	-R\$ 39.420,46
15	R\$ 90.475,00	R\$ 43.520,02	R\$ 4.099,56
16	R\$ 90.475,00	R\$ 41.447,64	R\$ 45.547,20
17	R\$ 90.475,00	R\$ 39.473,94	R\$ 85.021,14
18	R\$ 90.475,00	R\$ 37.594,23	R\$ 122.615,38
19	R\$ 90.475,00	R\$ 35.804,03	R\$ 158.419,40
20	R\$ 90.475,00	R\$ 34.099,08	R\$ 192.518,48
	VPL EM 20 ANOS		R\$ 192.518
	TIR EM 20 ANOS		7,32%
	Taxa de Desconto		5%
	PB simples		10,3
	PB descontado		16,6

	Taxa de Desconto		10%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 935.000,00	-R\$ 935.000,00	-R\$ 935.000,00
1	R\$ 90.475,00	R\$ 82.250,00	-R\$ 852.750,00
2	R\$ 90.475,00	R\$ 74.772,73	-R\$ 777.977,27
3	R\$ 90.475,00	R\$ 67.975,21	-R\$ 710.002,07
4	R\$ 90.475,00	R\$ 61.795,64	-R\$ 648.206,42
5	R\$ 90.475,00	R\$ 56.177,86	-R\$ 592.028,57
6	R\$ 90.475,00	R\$ 51.070,78	-R\$ 540.957,79
7	R\$ 90.475,00	R\$ 46.427,98	-R\$ 494.529,81
8	R\$ 90.475,00	R\$ 42.207,26	-R\$ 452.322,55
9	R\$ 90.475,00	R\$ 38.370,23	-R\$ 413.952,32
10	R\$ 90.475,00	R\$ 34.882,03	-R\$ 379.070,29
11	R\$ 90.475,00	R\$ 31.710,94	-R\$ 347.359,36
12	R\$ 90.475,00	R\$ 28.828,12	-R\$ 318.531,23
13	R\$ 90.475,00	R\$ 26.207,38	-R\$ 292.323,85
14	R\$ 90.475,00	R\$ 23.824,90	-R\$ 268.498,95
15	R\$ 90.475,00	R\$ 21.659,00	-R\$ 246.839,96
16	R\$ 90.475,00	R\$ 19.690,00	-R\$ 227.149,96
17	R\$ 90.475,00	R\$ 17.900,00	-R\$ 209.249,96
18	R\$ 90.475,00	R\$ 16.272,72	-R\$ 192.977,24
19	R\$ 90.475,00	R\$ 14.793,39	-R\$ 178.183,85
20	R\$ 90.475,00	R\$ 13.448,53	-R\$ 164.735,32
	TIR EM 20 ANOS		-R\$ 164.735
	TIR EM 20 ANOS		7,32%
	Taxa de Desconto		10%
	PB simples		10,3
	PB descontado		24,3

I.2 CENÁRIO 2

Investimento	Valor
Triturador	R\$ 800.000
Obras civis	R\$ 1.500.000
Túneis de vento	R\$ 145.000
Sistema de Bombeamento	R\$ 265.000
3 tratores	R\$ 450.000
Total	R\$ 3.160.000

RECEITAS ANUAIS	
Receita com Venda de Composto	R\$ 1.450.000,00
TOTAL	R\$ 1.450.000,00

DESPESAS ANUAIS	
Custo com Operação e Manutenção	R\$ 632.000,00
Custo com Depreciação	R\$ 158.000,00
TOTAL	R\$ 790.000,00

LAIR	R\$ 660.000,00
Impostos	R\$ 224.400,00

RECEITA LÍQUIDA ANUAL	R\$ 593.600,00
-----------------------	----------------

	Taxa de Desconto		5%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 3.160.000,00	-R\$ 3.160.000,00	-R\$ 3.160.000,00
1	R\$ 593.600,00	R\$ 565.333,33	-R\$ 2.594.666,67
2	R\$ 593.600,00	R\$ 538.412,70	-R\$ 2.056.253,97
3	R\$ 593.600,00	R\$ 512.774,00	-R\$ 1.543.479,97
4	R\$ 593.600,00	R\$ 488.356,19	-R\$ 1.055.123,78
5	R\$ 593.600,00	R\$ 465.101,13	-R\$ 590.022,65
6	R\$ 593.600,00	R\$ 442.953,46	-R\$ 147.069,19
7	R\$ 593.600,00	R\$ 421.860,44	R\$ 274.791,25
8	R\$ 593.600,00	R\$ 401.771,85	R\$ 676.563,09
9	R\$ 593.600,00	R\$ 382.639,85	R\$ 1.059.202,95
10	R\$ 593.600,00	R\$ 364.418,91	R\$ 1.423.621,85
	VPL EM 10 ANOS		R\$ 1.423.622
	TIR EM 10 ANOS		13,48%
	Taxa de Desconto		5,00%
	PB simples		5,3
	PB descontado		6,9
	Taxa de Desconto		10%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 3.160.000,00	-R\$ 3.160.000,00	-R\$ 3.160.000,00
1	R\$ 593.600,00	R\$ 539.636,36	-R\$ 2.620.363,64
2	R\$ 593.600,00	R\$ 490.578,51	-R\$ 2.129.785,12
3	R\$ 593.600,00	R\$ 445.980,47	-R\$ 1.683.804,66
4	R\$ 593.600,00	R\$ 405.436,79	-R\$ 1.278.367,87
5	R\$ 593.600,00	R\$ 368.578,90	-R\$ 909.788,97
6	R\$ 593.600,00	R\$ 335.071,72	-R\$ 574.717,25
7	R\$ 593.600,00	R\$ 304.610,66	-R\$ 270.106,59
8	R\$ 593.600,00	R\$ 276.918,78	R\$ 6.812,19
9	R\$ 593.600,00	R\$ 251.744,35	R\$ 258.556,54
10	R\$ 593.600,00	R\$ 228.858,50	R\$ 487.415,03
	VPL EM 10 ANOS		R\$ 487.415
	TIR EM 10 ANOS		13,48%
	Taxa de Desconto		10%
	PB simples		5,3
	PB descontado		8,7

	Taxa de Desconto		5%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 3.160.000,00	-R\$ 3.160.000,00	-R\$ 3.160.000,00
1	R\$ 593.600,00	R\$ 565.333,33	-R\$ 2.594.666,67
2	R\$ 593.600,00	R\$ 538.412,70	-R\$ 2.056.253,97
3	R\$ 593.600,00	R\$ 512.774,00	-R\$ 1.543.479,97
4	R\$ 593.600,00	R\$ 488.356,19	-R\$ 1.055.123,78
5	R\$ 593.600,00	R\$ 465.101,13	-R\$ 590.022,65
6	R\$ 593.600,00	R\$ 442.953,46	-R\$ 147.069,19
7	R\$ 593.600,00	R\$ 421.860,44	R\$ 274.791,25
8	R\$ 593.600,00	R\$ 401.771,85	R\$ 676.563,09
9	R\$ 593.600,00	R\$ 382.639,85	R\$ 1.059.202,95
10	R\$ 593.600,00	R\$ 364.418,91	R\$ 1.423.621,85
11	R\$ 593.600,00	R\$ 347.065,63	R\$ 1.770.687,48
12	R\$ 593.600,00	R\$ 330.538,69	R\$ 2.101.226,17
13	R\$ 593.600,00	R\$ 314.798,75	R\$ 2.416.024,93
14	R\$ 593.600,00	R\$ 299.808,34	R\$ 2.715.833,26
15	R\$ 593.600,00	R\$ 285.531,75	R\$ 3.001.365,01
16	R\$ 593.600,00	R\$ 271.935,00	R\$ 3.273.300,01
17	R\$ 593.600,00	R\$ 258.985,71	R\$ 3.532.285,72
18	R\$ 593.600,00	R\$ 246.653,06	R\$ 3.778.938,79
19	R\$ 593.600,00	R\$ 234.907,68	R\$ 4.013.846,46
20	R\$ 593.600,00	R\$ 223.721,60	R\$ 4.237.568,06
	VPL EM 20 ANOS		R\$ 4.237.568
	TIR EM 20 ANOS		18,11%
	Taxa de Desconto		5%
	PB simples		5,3
	PB descontado		8,5

	Taxa de Desconto		10%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 3.160.000,00	-R\$ 3.160.000,00	-R\$ 3.160.000,00
1	R\$ 593.600,00	R\$ 539.636,36	-R\$ 2.620.363,64
2	R\$ 593.600,00	R\$ 490.578,51	-R\$ 2.129.785,12
3	R\$ 593.600,00	R\$ 445.980,47	-R\$ 1.683.804,66
4	R\$ 593.600,00	R\$ 405.436,79	-R\$ 1.278.367,87
5	R\$ 593.600,00	R\$ 368.578,90	-R\$ 909.788,97
6	R\$ 593.600,00	R\$ 335.071,72	-R\$ 574.717,25
7	R\$ 593.600,00	R\$ 304.610,66	-R\$ 270.106,59
8	R\$ 593.600,00	R\$ 276.918,78	R\$ 6.812,19
9	R\$ 593.600,00	R\$ 251.744,35	R\$ 258.556,54
10	R\$ 593.600,00	R\$ 228.858,50	R\$ 487.415,03
11	R\$ 593.600,00	R\$ 208.053,18	R\$ 695.468,21
12	R\$ 593.600,00	R\$ 189.139,25	R\$ 884.607,47
13	R\$ 593.600,00	R\$ 171.944,78	R\$ 1.056.552,24
14	R\$ 593.600,00	R\$ 156.313,43	R\$ 1.212.865,67
15	R\$ 593.600,00	R\$ 142.103,12	R\$ 1.354.968,79
16	R\$ 593.600,00	R\$ 129.184,66	R\$ 1.484.153,45
17	R\$ 593.600,00	R\$ 117.440,60	R\$ 1.601.594,05
18	R\$ 593.600,00	R\$ 106.764,18	R\$ 1.708.358,22
19	R\$ 593.600,00	R\$ 97.058,34	R\$ 1.805.416,57
20	R\$ 593.600,00	R\$ 88.234,86	R\$ 1.893.651,42
	TIR EM 20 ANOS		R\$ 1.893.651
	TIR EM 20 ANOS		18,11 %
	Taxa de Desconto		10%
	PB simples		5,3
	PB descontado		12,5

I.3 CENÁRIO 3

Investimento	Valor
Triturador	R\$ 1.000.000,00
Obras civis	R\$ 2.250.000,00
Túneis de vento	R\$ 200.000,00
Sistema de Bombeamento	R\$ 350.000,00
Três tratores	R\$ 450.000,00
Total	R\$ 4.250.000,00

RECEITAS ANUAIS	
Receita com Venda de Composto	R\$ 2.000.000,00
TOTAL	R\$ 2.000.000,00

DESPESAS ANUAIS	
Custo com Operação e Manutenção	R\$ 850.000,00
Custo com Depreciação	R\$ 212.500,00
TOTAL	R\$ 1.062.500,00

LAIR	R\$ 937.500,00
Impostos	R\$ 318.750,00

RECEITA LÍQUIDA ANUAL	R\$ 831.250,00
------------------------------	-----------------------

RECEITAS ANUAIS	
Receita com Venda de Composto	R\$ 2.000.000,00
TOTAL	R\$ 2.000.000,00

DESPESAS ANUAIS	
Custo com Operação e Manutenção	R\$ 760.000,00
Custo com Depreciação	R\$ 190.000,00
TOTAL	R\$ 950.000,00

LAIR	R\$ 1.050.000,00
Impostos	R\$ 357.000,00

RECEITA LÍQUIDA ANUAL	R\$ 889.000,00
------------------------------	-----------------------

	Taxa de Desconto		5%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 4.250.000,00	-R\$ 4.250.000,00	-R\$ 4.250.000,00
1	R\$ 831.250,00	R\$ 791.666,67	-R\$ 3.458.333,33
2	R\$ 831.250,00	R\$ 753.968,25	-R\$ 2.704.365,08
3	R\$ 831.250,00	R\$ 718.065,00	-R\$ 1.986.300,08
4	R\$ 831.250,00	R\$ 683.871,43	-R\$ 1.302.428,64
5	R\$ 831.250,00	R\$ 651.306,13	-R\$ 651.122,52
6	R\$ 831.250,00	R\$ 620.291,55	-R\$ 30.830,97
7	R\$ 831.250,00	R\$ 590.753,86	R\$ 559.922,89
8	R\$ 831.250,00	R\$ 562.622,72	R\$ 1.122.545,61
9	R\$ 831.250,00	R\$ 535.831,16	R\$ 1.658.376,77
10	R\$ 831.250,00	R\$ 510.315,39	R\$ 2.168.692,16
	VPL EM 10 ANOS		R\$ 2.168.692
	TIR EM 10 ANOS		14,52 %
	Taxa de Desconto		5,00 %
	PB simples		5,1
	PB descontado		6,6
	Taxa de Desconto		10%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 4.250.000,00	-R\$ 4.250.000,00	-R\$ 4.250.000,00
1	R\$ 831.250,00	R\$ 755.681,82	-R\$ 3.494.318,18
2	R\$ 831.250,00	R\$ 686.983,47	-R\$ 2.807.334,71
3	R\$ 831.250,00	R\$ 624.530,43	-R\$ 2.182.804,28
4	R\$ 831.250,00	R\$ 567.754,93	-R\$ 1.615.049,35
5	R\$ 831.250,00	R\$ 516.140,85	-R\$ 1.098.908,50
6	R\$ 831.250,00	R\$ 469.218,95	-R\$ 629.689,54
7	R\$ 831.250,00	R\$ 426.562,69	-R\$ 203.126,86
8	R\$ 831.250,00	R\$ 387.784,26	R\$ 184.657,40
9	R\$ 831.250,00	R\$ 352.531,15	R\$ 537.188,55
10	R\$ 831.250,00	R\$ 320.482,86	R\$ 857.671,41
	VPL EM 10 ANOS		R\$ 857.671
	TIR EM 10 ANOS		14,52 %
	Taxa de Desconto		10 %
	PB simples		5,1
	PB descontado		8,3

	Taxa de Desconto		5%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 4.250.000,00	-R\$ 4.250.000,00	-R\$ 4.250.000,00
1	R\$ 831.250,00	R\$ 791.666,67	-R\$ 3.458.333,33
2	R\$ 831.250,00	R\$ 753.968,25	-R\$ 2.704.365,08
3	R\$ 831.250,00	R\$ 718.065,00	-R\$ 1.986.300,08
4	R\$ 831.250,00	R\$ 683.871,43	-R\$ 1.302.428,64
5	R\$ 831.250,00	R\$ 651.306,13	-R\$ 651.122,52
6	R\$ 831.250,00	R\$ 620.291,55	-R\$ 30.830,97
7	R\$ 831.250,00	R\$ 590.753,86	R\$ 559.922,89
8	R\$ 831.250,00	R\$ 562.622,72	R\$ 1.122.545,61
9	R\$ 831.250,00	R\$ 535.831,16	R\$ 1.658.376,77
10	R\$ 831.250,00	R\$ 510.315,39	R\$ 2.168.692,16
11	R\$ 831.250,00	R\$ 486.014,66	R\$ 2.654.706,82
12	R\$ 831.250,00	R\$ 462.871,10	R\$ 3.117.577,92
13	R\$ 831.250,00	R\$ 440.829,62	R\$ 3.558.407,55
14	R\$ 831.250,00	R\$ 419.837,74	R\$ 3.978.245,28
15	R\$ 831.250,00	R\$ 399.845,46	R\$ 4.378.090,74
16	R\$ 831.250,00	R\$ 380.805,20	R\$ 4.758.895,95
17	R\$ 831.250,00	R\$ 362.671,62	R\$ 5.121.567,57
18	R\$ 831.250,00	R\$ 345.401,54	R\$ 5.466.969,11
19	R\$ 831.250,00	R\$ 328.953,85	R\$ 5.795.922,96
20	R\$ 831.250,00	R\$ 313.289,38	R\$ 6.109.212,35
	VPL EM 20 ANOS		R\$ 6.109.212
	TIR EM 20 ANOS		18,95%
	Taxa de Desconto		5%
	PB simples		5,1
	PB descontado		8,2

	Taxa de Desconto		10%
ano	Receita Líquida Anual	Valor Presente	VPL
0	-R\$ 4.250.000,00	-R\$ 4.250.000,00	-R\$ 4.250.000,00
1	R\$ 831.250,00	R\$ 755.681,82	-R\$ 3.494.318,18
2	R\$ 831.250,00	R\$ 686.983,47	-R\$ 2.807.334,71
3	R\$ 831.250,00	R\$ 624.530,43	-R\$ 2.182.804,28
4	R\$ 831.250,00	R\$ 567.754,93	-R\$ 1.615.049,35
5	R\$ 831.250,00	R\$ 516.140,85	-R\$ 1.098.908,50
6	R\$ 831.250,00	R\$ 469.218,95	-R\$ 629.689,54
7	R\$ 831.250,00	R\$ 426.562,69	-R\$ 203.126,86
8	R\$ 831.250,00	R\$ 387.784,26	R\$ 184.657,40
9	R\$ 831.250,00	R\$ 352.531,15	R\$ 537.188,55
10	R\$ 831.250,00	R\$ 320.482,86	R\$ 857.671,41
11	R\$ 831.250,00	R\$ 291.348,05	R\$ 1.149.019,46
12	R\$ 831.250,00	R\$ 264.861,87	R\$ 1.413.881,33
13	R\$ 831.250,00	R\$ 240.783,52	R\$ 1.654.664,84
14	R\$ 831.250,00	R\$ 218.894,11	R\$ 1.873.558,95
15	R\$ 831.250,00	R\$ 198.994,64	R\$ 2.072.553,59
16	R\$ 831.250,00	R\$ 180.904,22	R\$ 2.253.457,81
17	R\$ 831.250,00	R\$ 164.458,38	R\$ 2.417.916,19
18	R\$ 831.250,00	R\$ 149.507,62	R\$ 2.567.423,81
19	R\$ 831.250,00	R\$ 135.916,02	R\$ 2.703.339,83
20	R\$ 831.250,00	R\$ 123.560,02	R\$ 2.826.899,84
	TIR EM 20 ANOS		R\$ 2.826.900
	TIR EM 20 ANOS		18,95%
	Taxa de Desconto		10%
	PB simples		5,1
	PB descontado		12,0

Σ VPL	TIR
9.342.128,97	2%
7.046.958,77	4%
5.284.372,01	6%
3.911.335,03	8,00%
3.514.357,77	9%
1.806.510,63	12,40%
1.255.477,27	14%
781.326,66	16%
137,52	18,95%
(202.161,85)	20%
(672.952,62)	22,86%
(833.349,03)	24%
(1.084.314,83)	26%
(1.302.549,74)	28%
(1.493.746,19)	30%
(1.662.415,46)	32%
(1.812.164,14)	34%

ANEXO A – Plantas Kompogas

Pais	Local de instalação	Volume de resíduos orgânicos (t/a)	Qtde. fermentadores	Ano fabricação
Alemanha	Backnang-Neuschöntal	36.000	2	2010
	Ingolstadt	20.000	1	2010
	Aurich-Grossefehn	18.250	1	2010
	Ennigerloh	18.000	1	2010
	Flörsheim-Wicker	45.000	3	2008
	Rostock	40.000	3	2008
	Gröbern	17.000	1	2007
	Amtzell	18.500	1	2007
	Ilbenstadt	18.500	1	2007
	Regen	18.000	1	2007
	Weissenfels II	24.000	2	2007
	Reimlingen	36.000	2	2006
	Passau	39.000	3	2004
	Weissenfels	12.500+12.500	1 + 1	2003 / 2006
	Alzey-Worms	26.000	2	1999
	Frankfurt	30.000	2	1999
	München-Erding	26.000	2	1997
	Hunsrück	10.000	2	1997
	Braunschweig	26.000	2	1997
	Kempten	10.000	2	1996
Áustria	Roppen	10.000	1	2001
	Lustenau	10.000	2	1997
Espanha	Botarell	54.000	3	2008
	Rioja	75.000	3	2005
França / Martinica	Angers	50.000	3	2010
	Forbach	42.000	3	2010
	Montpellier	100.000	8	2008
	Saint Lô	23.000	2	2008
	Martinica	20.000	2	2005
Holanda	Zwolle	45.000	2	2010
	Rijeseenhout	42.000	3	2010
	Wilp-Achterhoek	60.000	3	2008
Itália	Bracciano	20.000	1	2010
	Rovigo	30.000	2	2010
	Belluno	20.000	1	2010
Japão	Kyoto	20.000	2	2004
	Kyoto	1.000	1	1999
Qatar	Doha	274.000	15	2009

Pais	Local de instalação	Volume de resíduos orgânicos (t/a)	Qtde. fermentadores	Ano fabricação
Suíça	Chavornay	20.000	1	2010
	Wauwil	16.000	2	2010
	Villeneuve	20.000	1	2009
	Altdorf	5.000	1	2009
	Oensingen	16.000	1	2009
	Lavigny	12.000	1	2008
	Inwil	12.000	1	2008
	Klingnau	20.000	1	2008
	Utzenstorf	12.000	1	2007
	Aarberg	16.000	1	2006
	Ottenbach	16.000	1	2006
	Pratteln	12.500	1	2006
	Langenthal	4.000	1	2006
	Jona	5.000	1	2005
	Lenzburg	5.000	1	2005
	Oetwil am See	10.000 → 15.000	1 + 1	2001 / 2007
	Volketswil	5.000 → 20.000	1 + 1	2000 / 2009
	Niederuzwil	20.000 → 28.000	1 + 1	1998 / 2005
	Otelfingen	12.500	1	1996
	Samstagern	10.000	2	1995
	Bachenbülach	8.000 → 12.000	2 + 1	1994 / 2003
	Rümlang	8.500	2	1991
Qtde.total	60		123	