



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

**ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA UNIDADE
DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS
EM CAMPO GRANDE/MS**

Elton da Silva Paim

2020

CAMPO GRANDE | MS

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA UNIDADE DE
RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM
CAMPO GRANDE/MS**

ELTON DA SILVA PAIM

Trabalho de Conclusão de Curso (para defesa) do Mestrado Profissional apresentado na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Eficiência Energética.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Andréa Teresa Riccio Barbosa.

CAMPO GRANDE - MS

DEZEMBRO / 2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

Redação final do Trabalho de Conclusão de Curso defendida por **ELTON DA SILVA PAIM**, aprovada pela Comissão Julgadora em 21 de dezembro de 2020, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.



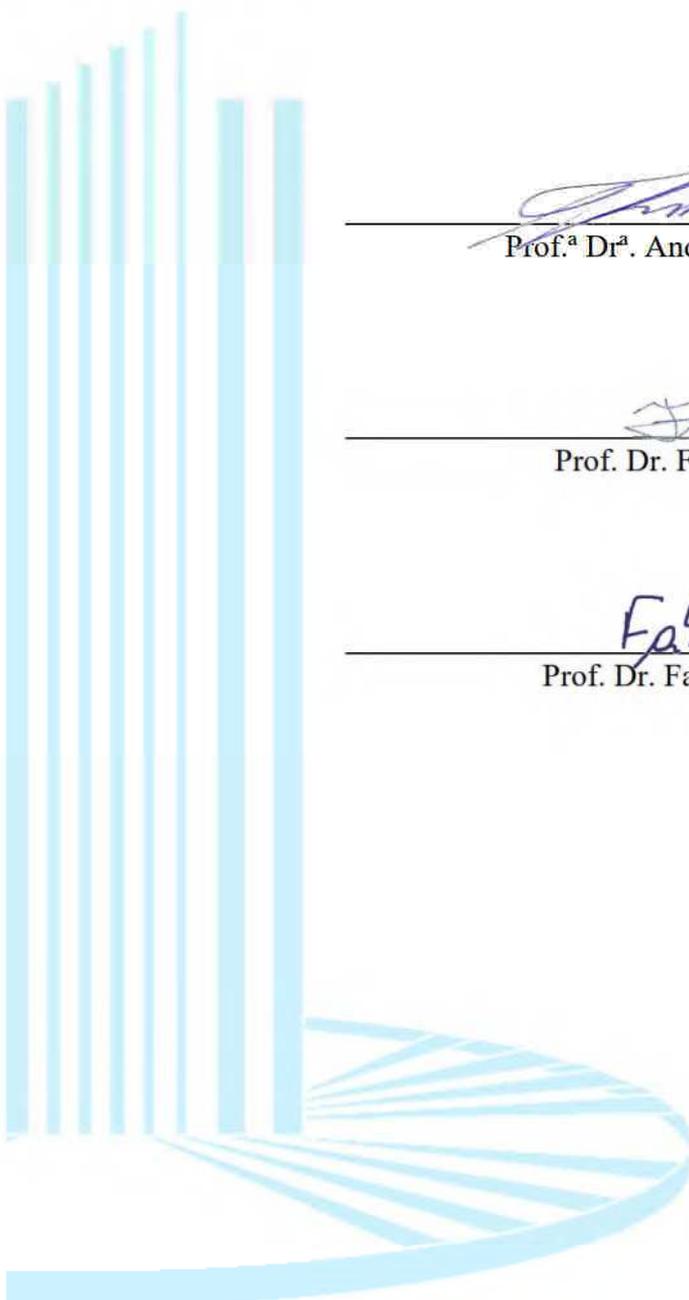
Prof.ª Dr.ª. Andréa Teresa Riccio Barbosa – Orientadora
FAENG/UFMS



Prof. Dr. Frederico Silva Moreira – Membro Titular
FAENG/UFMS



Prof. Dr. Fabiano Pagliosa Branco – Membro Titular
Engenharia Mecânica/UCDB



A Deus, que em sua infinita sabedoria guia meus caminhos me proporcionando saúde, serenidade e disposição para enfrentar todas as etapas desta árdua caminhada.

Aos meus pais Vanderlei Braga Paim e Leonice Prates da Silva Paim, que no decorrer de minha vida, proporcionaram-me além de extenso carinho e amor, os conhecimentos de integridade, da perseverança e de procurar sempre em Deus a força maior para o meu desenvolvimento como ser humano.

Ao meu irmão Elder da Silva Paim pelo apoio e amizade.

Por essa razão, gostaria de dedicar e reconhecer a vocês, minha imensa gratidão e sempre amor.

À todos vocês, meu muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me proporcionado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais e irmão, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A minha orientadora, Dra. Andrea Teresa Riccio Barbosa, pela atenção, compreensão e sabedoria dispensados a mim durante o período de elaboração deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), seu corpo docente, coordenação, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

A todos os demais professores, pela atenção e prontidão no atendimento e resolução dos problemas e pendências.

E a todos que diretamente e indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

EPÍGRAFE

“Quando você cresce, você tende a acreditar que o mundo é o que é, que sua vida é apenas viver dentro desse mundo e tentar não esmurrar muito as paredes.

Mas essa é uma vida muito limitada, a vida pode ser muito mais.

Assim que você descobre um simples fato, esse fato é que tudo ao seu redor, que você chama de vida foi inventado por pessoas que não são mais inteligentes que você, e que você pode mudar, influenciar tudo, pode construir suas próprias coisas que os outros poderão usar.

É só esquecer essa ideia equivocada de que a vida está aí e que você só vai passar por ela em vez de agarrá-la, modificá-la, incrementá-la, deixar sua marca nela. E quando aprender isso, você nunca mais será o mesmo!”.

Steven Paul Jobs (Steve Jobs)

RESUMO

A busca por novas fontes energéticas sempre foi uma necessidade constante para o desenvolvimento da sociedade. Atualmente, a geração de energia elétrica continua sendo cada vez mais necessária, em virtude do crescimento das cidades e das regiões. Esta pesquisa científica tem como objetivo principal analisar a viabilidade de implantação de uma Unidade de Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos em Campo Grande/MS. Esse tipo de empreendimento caracteriza-se pelo aproveitamento energéticos dos resíduos, utilizando esse material como combustível para geração de energia elétrica e/ou térmica. Mesmo que o *loco* deste projeto seja o município, essa pesquisa científica pode contribuir para o desenvolvimento de projetos similares em outras localidades. Campo Grande/MS, capital de Mato Grosso do Sul possui 895.982 habitantes com produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) per capita de 0,92 kg/hab/dia, totalizando 302.439 t/ano de RSUs (base úmida). Considerando os RSUs, na base seca e ausência de cinzas, a disponibilidade de RSUs para aproveitamento energético é de 173.393,61 t/ano com poder calorífico inferior de 19,33 MJ/t. A Unidade de Recuperação Energética (URE) de RSUs avaliada apresentou potencial de geração de eletricidade de 122.028,69 MWh/ano a partir 405,83 t/dia de RSU processado, Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 170.866.529,88, Taxa Interna de Retorno (TIR) de 20,11%, *Payback* Simples de 5,22 anos e Descontado de 7,18 anos, indicando assim a sua viabilidade técnica e econômica.

Palavras-chaves: Eletricidade, incineração, lixo.

ABSTRACT

The search for new energy sources has always been a constant need for the development of society. Currently, electricity generation continues to be increasingly necessary, due to the growth of cities and regions. The main objective of this scientific research is to analyze the feasibility of implementing an Energy Recovery Unit for Urban Solid Waste in Campo Grande/MS. This type of enterprise is characterized by use the energy from waste, using this material as fuel for the generation of electrical and / or thermal energy. Even if the location of this project is the municipality, this scientific research can contribute to the development of similar projects in other locations. Campo Grande/MS, capital of Mato Grosso do Sul has 895,982 habitants with production of Municipal Solid Waste (MSW) per capita of 0.92 kg/hab/day, totaling 302,439 t/year of MSW (wet basis). Considering the MSW, on a dry basis and without ash, the availability of MSW for energy use is 173,393.61 t/year with a low calorific value of 19.33 MJ/t. The Energy Recovery Unit (ERU) of MSW evaluated showed electricity generation potential of 122,028.69 MWh/year from 405.83 t/day of processed MSW, Net Present Value (NPV) of R\$ 170,866,529.88, Internal Rate of Return (IRR) of 20.11%, Simple Payback of 5.22 years and Discount of 7.18 years, thus indicating its technical and economic viability.

Keywords: Electricity, incineration, waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oferta interna de eletricidade estratificada por fonte.....	22
Figura 2 - Participação setorial no consumo de eletricidade brasileiro.	22
Figura 3 - Fluxo de energia elétrica no Brasil (ano base 2017).....	23
Figura 4 – Estrutura básica de um aterro sanitário.	28
Figura 5 – Tecnologias para aproveitamento energético dos RSU.	33
Figura 6 - Unidade típica de incineração de RSU.	35
Figura 7 - Unidade típica de produção de CDR.	36
Figura 8 – Aproveitamento do biogás em aterro sanitário.	41
Figura 9 – Esquema do processo de captação e tratamento de biogás.	41
Figura 10 – Esquema do processo de digestão anaeróbica acelerada.....	44
Figura 11 - Campo Grande conforme a Divisão Político-administrativa de Mato Grosso do Sul.	60
Figura 12 – Divisão do município de Campo Grande/MS conforme suas regiões e bairros. ..	61
Figura 13 – Zoneamento ecológico-econômico de Campo Grande/MS.	62
Figura 14 – População por Bairro em Campo Grande/MS (Censo 2010).....	63
Figura 15 – Polos Empresariais, Incubadoras Municipais e Terminal de Cargas.	65
Figura 16 – Localização do Terminal Intermodal de Cargas de Campo Grande/MS	65
Figura 17 - Classificação dos Resíduos Sólidos Domiciliares de Campo Grande/MS.	78
Figura 18 – Diagrama Básico da URE Usitrar Eco-Energy.	83
Figura 19 – Fluxograma do Processo de Aproveitamento Energético Usitrar Eco-Energy.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Balanço energético nacional 2018 (ano base 2017).	24
Tabela 2 - Massa específica e teor de umidade dos resíduos sólidos.	51
Tabela 3 - Componentes elementares presentes nos resíduos sólidos.	52
Tabela 4 - Incremento da População de Campo Grande (2000 a 2019).	63
Tabela 5 - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal de Campo Grande/MS.	64
Tabela 6 - Evolução das Receitas de Campo Grande/MS (2009 a 2018).	66
Tabela 7 - Evolução das Despesas de Campo Grande/MS (2009 a 2018)	66
Tabela 8 - Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares (Base Úmida).	78
Tabela 9 - Distribuição típica do RSU conforme índice de desenvolvimento socioeconômico.	79
Tabela 10 - Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares (Base Seca e Sem Cinzas).	80
Tabela 11 – Conteúdo Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande/MS.	81
Tabela 12 – Massa total, Composição e Disponibilidade de RSUs de Campo Grande/MS	85
Tabela 13 - Poder Calorífico dos RSUs de Campo Grande/MS (Base Seca e Sem Cinzas).	85
Tabela 14 - Características Básicas da UREs para Campo Grande/MS.	86
Tabela 15 – Energia elétrica produzida, consumida e excedente da URE de RSUs de Campo Grande/MS.	87
Tabela 16 - Parâmetros básicos para a viabilidade econômica.	88
Tabela 17 – Estratificação dos Custo para Implantação da URE em Campo Grande/MS.	88
Tabela 18 - Projeção dos custos de funcionamento da URE.	89
Tabela 19 - Projeção de Receitas para a URE.	89
Tabela 20 - Projeção de Fluxo de Caixa da URE.	89
Tabela 21 - Indicadores Econômicos da URE.	90
Tabela 22 - Avaliação de Custo/Benefício da URE	90

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACCV	Análise de Custo de Ciclo de Vida
ACV	Análise de Ciclo de Vida
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AOV	Ácidos Orgânicos Voláteis
APP	Área de Proteção Permanente
atm	Unidade de medida de pressão em atmosferas
BEN	Balanco Energético Nacional
BIG	Banco de Informação de Geração
Btu	Unidade de medida de energia térmica em British Thermal Unit (unidade térmica britânica)
C/N	Relação Carbono Nitrogênio
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDR	Combustível Derivado de Resíduos
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONFAZ	Conselho de Política Fazendária
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
Cr	Cromo
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
CTL	Centrais Termelétricas a Lixo
Cu	Cobre
EE	Eficiência Energética
EPE	Empresa de Pesquisas Energéticas

FCO	Fundo Constitucional do Centro Oeste
FGV	Fundação Getúlio Vargas
GD	Geração Distribuída
GDL	Gás do Lixo
GEE	Gases do Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GSS	Gás Solid Separator – Separador de Fases
GW	Unidade de medida de potência elétrica em gigawatt
GWh	Unidade de medida de produção de energia em gigawatt-hora
H ₂	Hidrogênio
H ₂ S	Gás sulfídrico
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	International Energy Agency – Agência Internacional de Energia
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
J	Unidade de medida de energia em joule
K	Potássio
kcal/kg	Unidade de medida de energia por massa em quilocalorias por metro cúbico
kcal/m ³	Unidade de medida de energia por massa em quilocalorias por metro cúbico
kg	Unidade de medida de massa em quilograma
kJ	Unidade de medida de energia em quilojoule
kJ/kg	Unidade de medida de energia por massa em quilojoule por metro cúbico
kJ/m ³	Unidade de medida de energia por massa em quilojoule por metro cúbico
KW	Unidade de medida de potência elétrica em quilowatt
kWh	Unidade de medida de produção de energia em quilowatt-hora
kWh/kg	Unidade de medida de produção de energia por massa em quilowatt-hora por quilograma

kWh/t	Unidade de medida de produção de energia por massa em quilowatt-hora por tonelada
m ³	Unidade de medida de volume em metro cúbico
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
Mg	Magnésio
mm/ano	Unidade de medida de pluviosidade em milímetros por ano
MME	Ministério de Minas e Energia
MS	Mato Grosso do Sul
MW	Unidade de medida de potência elétrica em megawatt
MWh	Unidade de medida de produção de energia em megawatt-hora
N ₂	Nitrogênio
NaCl	Cloreto de Sódio
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NH ₃	Amônia
Ni	Níquel
O ₂	Oxigênio
°C	Unidade de medida de temperatura em graus Celsius
ONU	Organizações das Nações Unidas
PC	Poder Calorífico
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PDE	Plano Decenal de Energia Elétrica PIB Produto Interno Bruto
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Programa Nacional de Saneamento Básico
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RCE	Redução Certificada de Emissões

RSD	Resíduo Sólido Doméstico
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEINFRA	Secretaria de Estado de Infraestrutura do Mato Grosso do Sul.
SINIEF	Sistema Nacional Integrado de Informações Econômico Fiscais
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
t/ano	Unidade de medida de massa de resíduo por período, em tonelada por dia
t/dia	Unidade de medida de massa de resíduo por período, em tonelada por dia
t/m ³	Unidade de medida de densidade, em tonelada por metro cúbico
t/mês	Unidade de medida de massa de resíduo por período, em tonelada por dia
tep	Unidade de medida de equivalência energética, em tonelada equivalente de petróleo – 1 tep equivalente à 11,63 x 10 ³ kWh
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa mínima de atratividade
TW	Unidade de medida de potência elétrica, em terawatt
TWh	Unidade de medida de produção de energia, em terawatt-hora
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UNEP	United Nations Environment Programme – Programa para o Meio Ambiente
URE	Unidade de Recuperação Energética
USEIA	Agência de Informação de Energia nos EUA
US-EPA	United States Environmental Protection Agency – Agência de Proteção Ambiental
UTR	Unidade de Tratamento de Resíduo
VPL	Valor Presente Líquido
WRI	World Resources Institute – Instituto de Pesquisas Mundial
ZB	Zona Bioclimática

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	17
1.1.	Objetivos.....	18
1.1.1.	Objetivo Geral.....	18
1.1.2.	Objetivos Específicos.....	18
1.2.	Justificativa e Motivação.....	18
1.3.	Estruturação da Dissertação.....	19
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1.	Panorama Energético Nacional.....	21
2.2.	Fontes Alternativas de Energia Elétrica.....	25
2.3.	Tratamento e Disposição dos RSU.....	27
2.3.1.	Resíduos Sólidos Urbanos.....	29
2.3.2.	Recuperação Energética do RSU.....	32
2.4.	Trabalhos Relacionados.....	45
3.	METODOLOGIA.....	48
3.1.	Alternativas, Tecnologias e Soluções para a Recuperação Energética dos RSUs..	49
3.2.	Análise das Características Físico-químicas dos RSUs de Campo Grande/MS.	50
3.3.	Avaliação do Conteúdo Energético dos RSUs de Campo Grande/MS.....	52
3.4.	Análise de Viabilidade da URE de RSU em Campo Grande/MS.....	54
3.4.1.	Análise de Viabilidade Técnica.....	54
3.4.2.	Análise de Viabilidade Econômica.....	56
4.	RESULTADOS.....	60
4.1.	Caracterização do Município.....	60
4.1.1.	Aspectos Físicos.....	60
4.1.2.	Aspectos Ambientais.....	61
4.1.3.	Aspectos Socioeconômicos.....	63
4.2.	Resíduos Sólidos Urbanos em Campo Grande/MS.....	67
4.2.1.	Aspectos Legais.....	67
4.2.2.	Formas de Prestação, Regulação e Fiscalização do Serviço.....	70
4.2.3.	Resíduos Sólidos Domiciliares.....	72
4.2.4.	Resíduos Sólidos Comerciais.....	74
4.2.5.	Resíduos da Construção Civil.....	75
4.2.6.	Resíduos da Limpeza Urbana.....	75
4.2.7.	Resíduos com Logística Reversa.....	76
4.2.8.	Resíduos de Serviços de Saúde.....	76
4.3.	Unidade de Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos.....	77
4.3.1.	Caracterização Física dos RSUs de Campo Grande/MS.....	77
4.3.2.	Análise dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande/MS.....	79
4.3.3.	Caracterização da Unidade de Recuperação Energética.....	81

4.3.4.	Análise de Viabilidade Técnica.....	84
4.3.5.	Análise de Viabilidade Econômica	87
5.	DISCUSSÃO.....	91
5.1.	Avaliação dos Resultados.....	91
5.2.	Oportunidades.....	92
5.3.	Dificuldades.....	92
5.4.	Trabalhos Futuros	93
6.	CONCLUSÃO.....	95
7.	REFERÊNCIAS	96
8.	BIBLIOGRAFIA.....	110

1. INTRODUÇÃO

A busca por novas fontes de energia é uma necessidade constante para o homem. Para que a sociedade se desenvolvesse até como está hoje, foi necessário realizar investimentos na geração de energia. Atualmente, a geração de energia elétrica continua sendo cada vez mais necessária, em virtude do crescimento das cidades e das regiões.

O Ministério de Minas e Energia (MME), através da Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), divulga anualmente o Balanço Energético Nacional (BEN), cujo documento informa a contabilidade energética referente a geração e o consumo de energia elétrica do país no ano anterior à sua publicação. A partir do BEN (2018) verifica-se que a geração de energia elétrica do país em 2017 foi de 587,96 TWh e o consumo foi de 526,2 TWh, apresentando um incremento na geração de 1,6% e no consumo de 1,2%, se comparado ao ano de 2016.

Verifica-se, desta forma, que a geração e o consumo de energia no Brasil mostram-se muito próximos, fato este que pode ocasionar um desabastecimento energético. Confirmando um forte cenário para aplicação de ações de eficiência energética, para a busca por novas fontes alternativas para geração e a implantação de novas usinas de geração de eletricidade.

O BEN (2018), também apresenta que, considerando o cenário nacional do consumo total de eletricidade, o setor industrial representou 37,70%, seguido pelo setor residencial com 25,50%, comercial com 17,10%, público com 8,20%, energético 5,60%, agropecuário 5,50% e, transporte 0,4% (BRASIL, 2018).

Apesar do Brasil já possuir diversos programas de eficiência energética, com reconhecimento internacional, como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), as ações para eficiência energética não vêm ocorrendo com a intensidade desejada e mais ações efetivas são necessárias (BRASIL, 2011).

Desta forma, a busca por novas fontes para produção de energia elétrica é uma alternativa e se torna necessidade. Para que se possa manter estável e sob controle o fornecimento de energia elétrica, evitando assim um eventual desabastecimento energético do país.

As informações supracitadas, sob o ponto de vista energético, trazem à tona uma situação-problema importante e que necessita de investigação: a análise de viabilidade para utilização de novas fontes alternativas para geração de energia elétrica. Diante do exposto,

considera-se como contribuição a proposta desse trabalho, o estudo de viabilidade para implantação de uma Unidade de Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

Diversos países da Europa, América do Norte e Ásia, minimizam o problema de geração de eletricidade por fontes alternativas, apoiado na utilização dos RSUs como combustível para o acionamento destas usinas (LUCKE, 2012).

Para este trabalho considera-se como problemática central dessa investigação científica, o seguinte questionamento: Qual a viabilidade para a implantação de uma Unidade de Recuperação Energética (URE) de Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs) em Campo Grande/MS?

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar a viabilidade para implantação de uma Unidade de Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos em Campo Grande/MS.

1.1.2. Objetivos Específicos

- a) identificar as alternativas, tecnologias e soluções para aproveitamento e recuperação energética dos RSUs;
- b) analisar a quantidade, composição gravimétrica, massa específica e composição elementar dos RSUs produzidos, coletados e transportados diariamente no município;
- c) calcular o conteúdo energético do RSU e avaliar o potencial de geração de eletricidade;
- d) calcular as receitas, despesas, fluxo de caixa e avaliar os indicadores econômicos da URE de RSU considerando as características de Campo Grande/MS.

1.2. Justificativa e Motivação

Justifica-se que essa pesquisa poderá contribuir com as iniciativas que buscam novas fontes alternativas confiáveis para geração de energia elétrica. Mesmo que o *loco* deste projeto seja o município de Campo Grande/MS, delimitando-se somente ao respectivo município que é a capital do Estado e que possui a maior densidade populacional, o resultado dessa pesquisa

científica poderá contribuir para o desenvolvimento de projetos similares em outros municípios brasileiros.

A motivação principal desta pesquisa está diretamente relacionada ao interesse desse pesquisador em buscar formas de mitigar o impacto social, econômico e ambiental ocasionado pela desenfreada geração de RSU em uma sociedade extremamente consumista.

Como a capacidade energética de um país está diretamente relacionada com o seu potencial de desenvolvimento, faz-se necessário incrementar as pesquisas que promovam a busca por alternativas viáveis e que potencializem a diversificação da matriz energética brasileira que hoje é altamente dependente das chuvas.

Nota-se, que a existência de viabilidade técnico-econômica do objeto deste trabalho poderá contribuir para geração de renda, com o conseqüente desenvolvimento do Estado e da região do Pantanal reduzindo a desigualdade socioeconômica local.

1.3. Estruturação da Dissertação

O presente trabalho está dividido em 7 (sete) capítulos, organizados do seguinte modo:

O Capítulo 1 (um) faz a introdução ao tema, descrevendo a problemática, os objetivos (geral e específicos), a justificativa, a motivação e a estrutura básica do trabalho.

O Capítulo 2 (dois) apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre o tema, considerando o panorama energético nacional, as fontes alternativas de energia, as principais formas e técnicas de tratamento, recuperação energética e disposição dos resíduos sólidos urbanos, além de apresentar os resultados obtidos em trabalhos relacionados ao tema.

O Capítulo 3 (três) apresenta a metodologia utilizada para execução desta pesquisa científica, enfatizando a forma de coleta das informações e o método de tratamento das informações.

O Capítulo 4 (quatro) apresenta a caracterização do município de Campo Grande/MS (*locus* do trabalho), as informações básicas (aspectos legais, formas de prestação, regulação, fiscalização e classe) relativo aos resíduos sólidos urbanos produzidos no município. Assim como as características físicas, composição elementar, conteúdo energético e potencial de geração dos resíduos sólidos e a viabilidade técnica e econômica da URE.

O Capítulo 5 (cinco) faz a discussão e avaliação dos resultados obtidos no estudo, salientando as oportunidades dificuldades e sugestão de trabalhos futuros.

O Capítulo 6 (seis) apresenta as conclusões do trabalho, seguido pelas referências bibliográficas apresentadas no Capítulo 7 (sete).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo serão descritos os fundamentos considerados importantes para o melhor entendimento do que será desenvolvido no trabalho.

2.1. Panorama Energético Nacional

Com o desenvolvimento da energia elétrica, os avanços tecnológicos intensificaram-se, assim como foi iniciada uma forte dependência pelos combustíveis fósseis, a exemplo do uso do carvão mineral, do petróleo e seus derivados para geração de eletricidade (STRAPASSON, 2004).

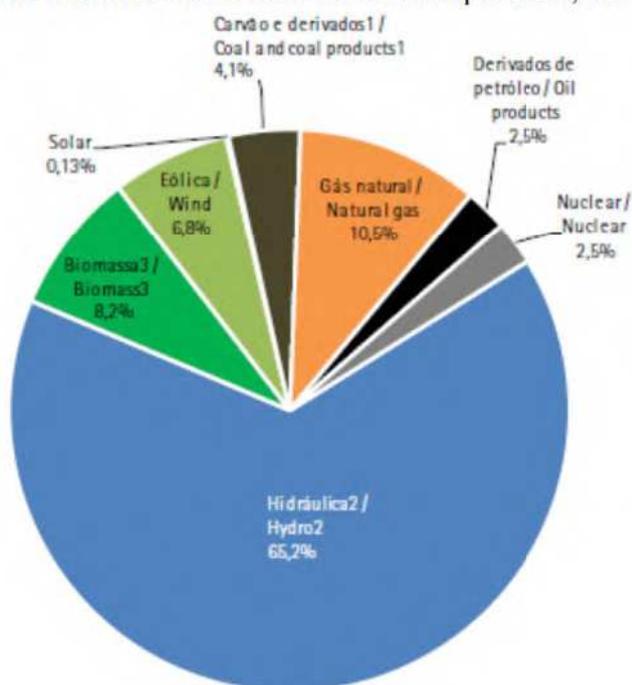
Os avanços tecnológicos proporcionaram, cada vez mais, a invenção de novos aparelhos eletroeletrônicos que possibilitam a economia de tempo e mão de obra e, proporcionam conforto. Desta forma, sendo cada vez mais utilizados pelas pessoas, fazendo com que o consumo de energia elétrica cresça a cada dia (CREDER, 2007).

A partir de 1971, as sucessivas crises energéticas fizeram com que os governos e a sociedade fossem se conscientizando da necessidade de conter os desperdícios e de se implementar programas para promover a eficiência energética, assim como houve um incremento na busca e pesquisas por novas fontes de energias renováveis (MAMEDE, 2017).

Segundo a EPE (2018), conforme apresentado no Balanço Energético Nacional 2018 (BEN 2018), em 2017 a geração de energia elétrica atingiu 588 TWh, valor 1,6% superior ao ano anterior. A geração elétrica a partir de fontes não renováveis representou 20,8%, aumento de 1,2% frente aos 19,6% em 2016. Contando com as importações líquidas que totalizaram 36,4 TWh, a oferta de energia elétrica no país foi de 624, TWh, montante 0,7% superior a 2016. (EPE, 2018).

A geração de energia elétrica brasileira é predominantemente composta por fontes renováveis, onde destacam-se 4 fontes renováveis, a hidráulica, a solar, a eólica e biomassa complementadas por carvão, petróleo, gás natural e seus derivados. Em 2017, a energia hidráulica representou 65,2% da geração de eletricidade, seguida por biomassa (8,2%), eólica (6,8%), solar (0,13%), carvão e derivados (4,1%), gás natural (10,5%), derivados de petróleo (2,5%) e nuclear (2,5%) (EPE, 2018). A Figura 1 apresenta a oferta interna de eletricidade estratificada por fonte.

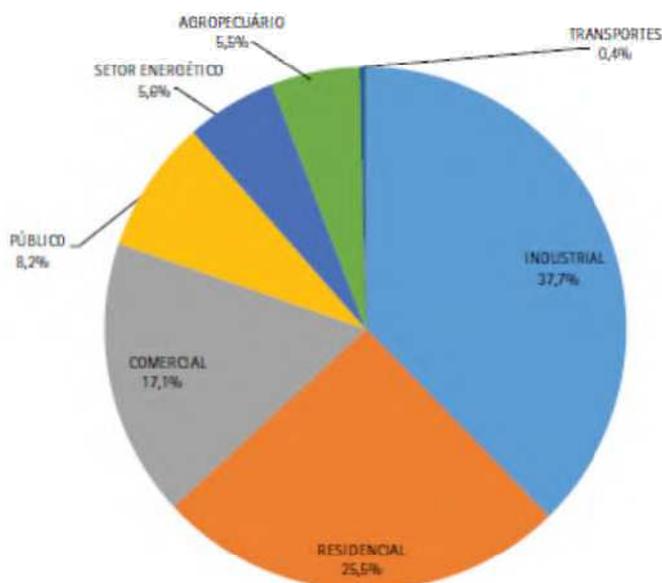
Figura 1 - Oferta interna de eletricidade estratificada por fonte, ano base 2017.



Fonte: EPE (2018)

O consumo final de energia elétrica neste período foi de 526,2 TWh, 1,2% a mais em comparação ao ano de 2016 (521,4 TWh). Em 2017 os setores, residencial (25,5%), comercial (17,1%) e industrial (37,7%) correspondem a mais de 80% do consumo de energia elétrica do país, seguido por serviços públicos (8,2%), setor energético (5,6%), agropecuário (5,5%) e transporte (0,4%) que junto totalizam 19,7%. (EPE, 2018). A Figura 2 apresenta de forma gráfica a participação setorial no consumo de eletricidade do país.

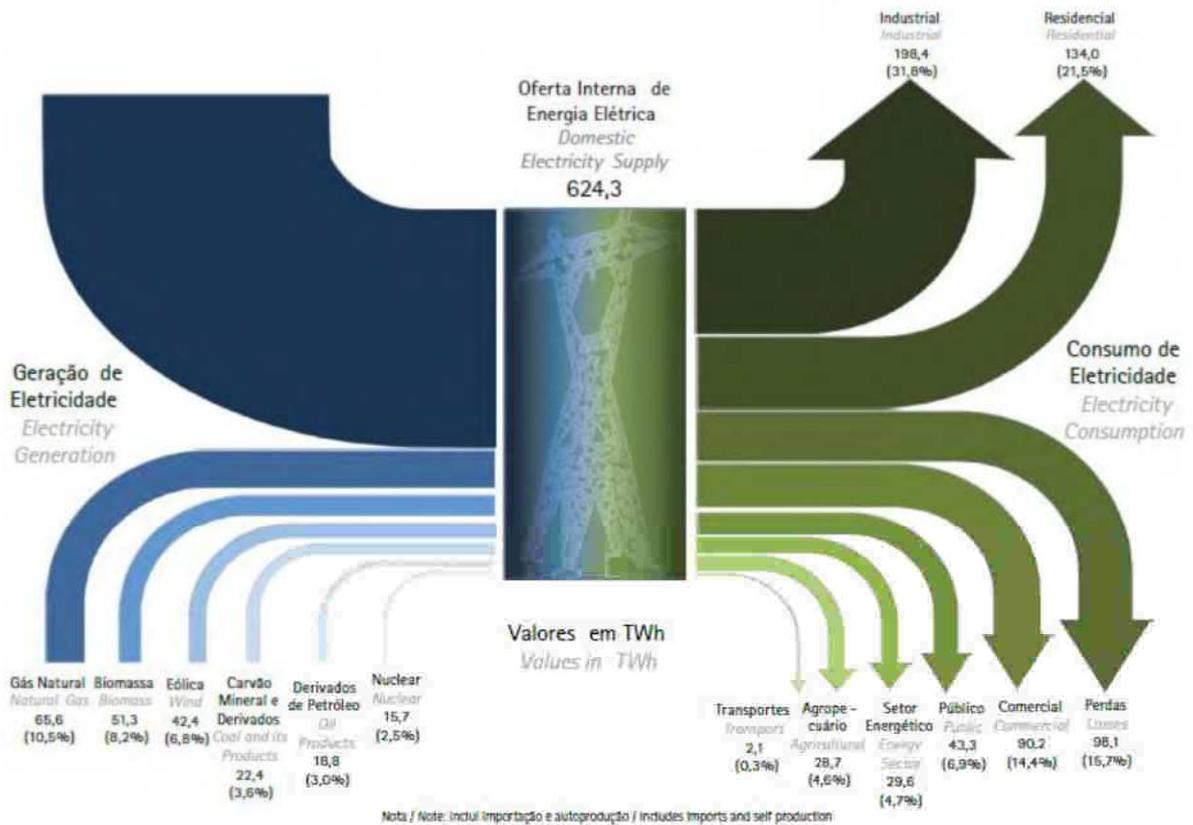
Figura 2 - Participação setorial no consumo de eletricidade brasileiro, ano base 2017.



Fonte: EPE (2018)

A Figura 3 apresenta de forma simplificada o fluxo de energia elétrica brasileiro, para o ano de 2017, considerando as fontes de geração e os setores consumidores cada um com seu percentual de composição.

Figura 3 - Fluxo de energia elétrica no Brasil, ano base 2017.



Fonte: EPE (2018)

O histórico de geração de eletricidade brasileiro acompanha os indicadores econômicos, desta forma, caso o país esteja em ritmo acelerado de crescimento, o consumo de energia elétrica intensifica e consequentemente a geração acompanha. De 2009 a 2014, devido ao forte crescimento econômico brasileiro, o consumo de energia elétrica cresceu em média 4,59% ao ano, tendo como pico o 9,08% em 2010. No entanto, devido a grave recessão que acometeu o país, em 2015 e 2016, o consumo diminuiu 2,11% comparado com 2014 (EPE, 2018).

A geração energética de um país deve acompanhar a demanda de utilização, desta forma, verifica-se comportamento semelhante ao consumo para a geração, com crescimento expressivo de 2009 a 2014 e queda em 2015 e 2016. A partir da sinalização da melhora econômica do país, em 2017, conforme supracitado, o consumo e a geração de eletricidade cresceram 0,93% e 1,57% comparado a 2016. Seguindo com expectativa de leve crescimento em 2018 e 2019

(EPE, 2018). A Tabela 1 apresenta de forma resumida o balanço energético brasileiro 2018, ano base 2017.

Tabela 1 - Balanço energético nacional, ano base 2017.

FLUXO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	GWh
											FLOW
PRODUÇÃO	463.120	466.158	515.799	531.758	552.498	570.835	590.542	581.228	578.898	587.962	PRODUCTION
CENTRAIS ELÉTRICAS DE SERVIÇO PÚBLICO	412.012	409.150	442.803	454.726	474.470	484.673	496.510	484.922	480.361	491.148	PUBLIC SERVICE POWER PLANTS
AUTOPRODUTORES	51.107	57.008	72.995	77.033	78.028	86.162	94.032	96.306	98.538	96.815	SELF PRODUCERS
IMPORTAÇÃO	42.901	40.746	35.906	38.430	40.722	40.334	33.778	34.642	41.313	36.511	IMPORT
EXPORTAÇÃO	-689	-1.080	-1.257	-2.544	-467	0	-3	-219	-518	-156	EXPORT
PERDAS	-77.082	-79.795	-85.748	-86.876	-94.367	-94.995	-91.759	-91.067	-98.317	-98.083	LOSSES
CONSUMO TOTAL	428.250	426.029	464.899	480.968	498.386	516.174	532.559	524.583	521.376	526.234	TOTAL CONSUMPTION
CONSUMO FINAL	428.250	426.029	464.899	480.968	498.386	516.174	532.559	524.583	521.376	526.234	FINAL CONSUMPTION
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO	428.250	426.029	464.899	480.968	498.386	516.174	532.559	524.583	521.376	526.234	FINAL ENERGY CONSUMPTION
SETOR ENERGÉTICO	18.395	16.149	26.837	24.220	26.350	29.719	31.160	31.898	29.772	29.642	ENERGY SECTOR
RESIDENCIAL	95.585	100.638	107.215	111.971	117.646	124.896	132.302	131.032	132.895	133.976	RESIDENTIAL
COMERCIAL	62.495	65.981	69.718	74.056	79.797	84.397	90.640	91.444	88.906	90.198	COMMERCIAL
PÚBLICO	34.553	35.245	36.979	38.171	39.818	41.332	42.851	43.443	43.342	43.308	PUBLIC
AGROPECUÁRIO	18.397	17.684	18.938	21.460	23.268	23.786	26.581	26.790	28.242	28.736	AGRICULTURE AND LIVESTOCK
TRANSPORTES	1.607	1.591	1.662	1.700	1.885	1.884	1.979	2.055	2.007	2.055	TRANSPORTATION
FERROVIÁRIO	1.607	1.591	1.662	1.700	1.885	1.884	1.979	2.055	2.007	2.055	RAILROADS
INDUSTRIAL	197.218	196.740	203.350	209.290	209.622	210.159	207.046	197.931	196.213	198.319	INDUSTRIAL
CIMENTO	5.785	5.816	6.435	6.949	7.495	7.826	7.920	7.111	6.372	6.005	CEMENT
FERRO-GUSA E AÇO	18.622	14.890	18.755	19.933	19.717	19.671	19.441	18.714	17.264	18.652	PIG-IRON AND STEEL
FERRO-LIGAS	8.737	6.749	8.461	7.883	7.741	7.277	6.768	6.091	6.030	6.626	IRON-ALLOYS
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	11.274	8.230	11.300	11.946	11.753	11.842	12.292	12.742	11.821	12.497	MINING/PELLETIZATION
NÃO-FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA	39.144	36.208	37.191	38.466	37.844	36.107	32.553	26.929	27.112	27.292	NON-FERROUS/OTHER METALLURGICAL
QUÍMICA	22.109	23.715	23.898	23.420	23.523	22.817	22.361	22.562	22.102	21.585	CHEMICAL
ALIMENTOS E BEBIDAS	23.080	23.542	26.964	27.234	28.177	27.400	27.035	26.081	26.913	27.483	FOODS AND BEVERAGES
TÊXTIL	7.813	7.735	8.308	8.225	7.496	7.384	7.236	6.512	6.250	6.514	TEXTILES
PAPEL E CELULOSE	17.764	18.297	19.020	19.077	19.023	19.594	20.711	21.684	22.708	23.243	PAPER AND PULP
CERÂMICA	3.469	3.504	3.714	3.973	4.172	4.422	4.378	3.940	3.743	3.743	CERAMICS
OUTROS	39.421	38.547	39.304	42.284	42.681	45.820	46.352	45.563	45.898	44.678	OTHERS

Fonte: EPE (2018)

Com objetivo de minimizar os impactos negativos causados pelo desenfreado aumento do consumo energético, não se limitando a eletricidade, o Brasil atualmente conta com diversos programas de apoio e incentivo as ações de eficiência energética. São exemplos, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET), o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) lançado em 2011. Associado a programas de apoio e incentivo para a pesquisa e desenvolvimento das

fontes alternativas de energia, como por exemplo, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), Redução de tarifas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Fundo Nacional Sobre Mudanças Climáticas (Fundo Clima) e Plano Nacional Sobre Mudança do Clima (PNMC) (ABRELPE, 2012; PEREIRA, 2017).

2.2. Fontes Alternativas de Energia Elétrica

Segundo Lucke (2012), conhecidos os impactos produzidos ao meio ambiente e a sociedade devido a aplicação de combustíveis fósseis, percebe-se as dificuldades e a urgência necessária à implantação de fontes alternativas de energia. Desta forma, a melhor alternativa pode ser a diversificação da matriz energética, através da escolha e implementação de fontes que melhor se adequem ao propósito almejado à conjuntura política, ambiental, social e econômica da região.

Para Lucke (2012), especialmente para geração de eletricidade existem diversas fontes alternativas de energia com potencial de aplicação. No entanto, a sua viabilização depende de estudos e experimentos que promovam inovações e otimizações com intuito de melhorar a sua aplicabilidade para substituição de outras fontes. Alguns exemplos são a energia solar, eólica, oceânica, geotérmica, biomassa e o aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos.

A energia solar é baseada em sistemas que transformam a energia irradiada pelo Sol (radiação solar incidente) em energia útil, sendo subdividida em dois tipos: energia solar térmica (calor) e energia solar fotovoltaica (eletricidade). O aproveitamento da energia solar é hoje uma das alternativas mais promissoras para geração de energia necessária ao desenvolvimento da sociedade. (CRESESB, 2014).

Atualmente, o Brasil possui 2.261 usinas de geração solar fotovoltaica em operação, totalizando 1,48 GW de potência instalada. A previsão é que nos próximos anos, ocorra a adição de 79 novas centrais de geração solar fotovoltaica, o que garante a adição de 2,19 GW na capacidade de geração do país (ANEEL, 2018).

A energia eólica é uma fonte energética limpa e ambientalmente correta para a geração de eletricidade. Aliado ao seu caráter renovável e associado ao fato de não poluir durante a operação, a tornam uma fonte promissora (MONTEZANO, 2012).

O princípio de funcionamento dos sistemas eólicos para geração de energia elétrica é baseado no processo de transformação da energia cinética em energia elétrica. Nos sistemas, uma turbina eólica capta uma parte da energia cinética do vento e a transfere a um gerador

elétrico acoplado em seu eixo (CEPEL, 2001). O Brasil possui 13,59 GW de potência instalada em 551 usinas de geração eólicas em funcionamento. A previsão é que 210 novas centrais geradoras eólicas entrem em funcionamento nos próximos anos, acrescentando novos 4,80 GW de potência instalada ao sistema (ANEEL, 2018).

A energia oceânica consiste de outra fonte alternativa, divididas em cinco formas básicas: energia das ondas (extraída diretamente das ondas); energia das marés (extraída a partir da componente cinética e do seu potencial); energia de correntes (extraída da energia cinética das correntes marinhas); energia do gradiente de temperatura (gradiente de temperatura entre as águas superficiais e profundas; e a energia do gradiente de salinidade (aproveita-se a energia osmótica da diferença de salinidade entre a água doce dos rios e a água salgada dos oceanos) (SÁNCHEZ *et al.*, 2017).

Para Sánchez et al (2017), devido ao fato de ser uma energia renovável e com grande potencial, vários estudos estão sendo desenvolvidos com intuito de viabilizar a construção e teste de usinas protótipos. Segundo dados da Aneel (2018), o Brasil possui em operação 1 central geradora undi-elétrica em operação, totalizando 50 kW de potência instalada. Não existe previsão para a implantação de novos empreendimentos de aproveitamento de energia das marés no país.

A energia geotérmica ou energia geotermal é oriunda do calor existente no núcleo da Terra. Sua pesquisa iniciou em 1904 na Itália, a partir das tentativas gerar eletricidade a partir dessa energia (NASCIMENTO, 2016). O modo de funcionamento das usinas geotérmicas é similar ao de uma termelétrica convencional, onde o vapor a alta temperatura e alta pressão aciona turbinas a vapor acopladas a geradores elétricos. No mundo, devido a presença de afloramentos vulcânicos, existem várias regiões com potencial para exploração da energia geotérmica (REIS, 2011).

Considerando as tecnologias existentes, o Brasil não é um país propício para a utilização em larga escala da energia geotérmica, devido ao fato estar situado longe das zonas de afloramento vulcânicos, que são considerados locais ótimos para a utilização desta energia. Desta forma, não há exploração das fontes geotérmicas no Brasil para produção de energia elétrica (CEMIG, 2012).

A biomassa é considerada como uma das matérias-primas para a produção de energia com elevado potencial de crescimento, sendo destacada no Brasil através da cana-de-açúcar que pelo fato desta possuir elevado teor de materiais lignocelulósicos, que favorece a geração de energia (DANTAS, 2010).

Embora possua eficiência reduzida, a principal vantagem da utilização energética da biomassa é que o seu aproveitamento pode ser realizado diretamente pela combustão em fornos, caldeiras e entre outros (ANEEL, 2005). A utilização da biomassa como combustível para os fornos e/ou caldeiras, nas indústrias do Brasil tem sido expressiva. Pois é possível ter como resultado a energia na forma de eletricidade e/ou vapor para consequente utilização nos processos ou para a venda externa (DANTAS, 2010).

2.3. Tratamento e Disposição dos RSU

A partir de dados divulgados por Ipsos (2013), o Brasil ocupa o quarto lugar no *ranking* dos cinco países mais consumistas do mundo, tendo como consequência a elevada geração de resíduos.

A destinação dos resíduos sólidos urbanos avançou de diferentes formas no Mundo, mas pode ser classificada em três fases. A primeira fase durou até meados da década de 1970, fase em que os resíduos, em crescimento elevado de volume devido à ausência de políticas restritivas, eram destinados a lixões, incineradores ou aterros sanitários; A segunda etapa caracterizou-se pelo avanço das políticas de reutilização e reciclagem (reduzir, reutilizar e reciclar – 3 Rs); A terceira fase, consiste no aprimoramento da fase anterior, através da evolução das diretrizes prioritárias visando evitar ou diminuir a geração dos resíduos, reutilizar ou reciclar e utilizar a energia os resíduos tornando-os inertes antes da disposição final (ABRELPE, 2012).

Conforme Monteiro et al (2001) *apud* Santana (2016), aterros sanitários são um método para disposição final dos RSU, respaldados por critérios de engenharia e normas técnicas, sobre terreno natural impermeabilizado, com sistema de tratamento de chorume e dispersão de gases, em camadas cobertas por material inerte de forma a evitar impactos a saúde, segurança pública e ambientais. Já o aterro controlado consiste basicamente em um lixão onde os resíduos são aterrados com uma camada de material inerte, com objetivo de minimizar os impactos ambientais, no entanto sem impermeabilização da base, tratamento de chorume e gases (PAVAN, 2010; SANTANA, 2016). A Figura 4 apresenta a estrutura básica de um aterro sanitário.

Figura 4 – Estrutura básica de um aterro sanitário.



Fonte: SEMARH-AL (2015) *apud* Albarracin (2016)

Segundo a ABRELPE (2012), o aterro sanitário é a forma correta de destinação final dos rejeitos no solo após as etapas de coleta, pré-tratamento, valorização mecânica, biológica e energética dos RSU. No entanto, verifica-se que os resíduos somente devem ser dispostos em aterros sanitários quando não possuírem condições de utilização.

Considerando o alto custo financeiro e a escassez de área para construção e viabilização de aterros sanitários, nota-se a importância e a necessidade da pesquisa por estratégias e tecnologias que subsidiem a destinação dos RSUs. A partir desta problemática, as Unidades de Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos (URE), que consistem de usinas de processamento de resíduos para geração de energia, apresentam-se como estratégia para mitigar o problema (CAXIETA, 2005).

Segundo a EPE (2014), nas principais cidades brasileiras, os vazadouros utilizados estão em fase de encerramento de operação. Simultaneamente à construção de novos aterros e, evidenciando o reconhecimento que a solução tradicional apenas transfere o problema para alguns anos à frente sem efetivamente enfrentá-lo, essa situação tem motivado a discussão sobre a aplicação de tecnologias que reduzam a quantidade de lixo a dispor e ainda permitam benefícios adicionais como a obtenção de receitas pela comercialização de coprodutos gerados, como energia elétrica, térmica, biocombustíveis, recicláveis, adubos naturais ou cinzas para a construção civil.

Embora o aproveitamento energético de resíduos urbanos não se apresente com potencial de escala suficiente para sustentar uma estratégia de expansão da oferta de energia

elétrica ou de biocombustível do país no longo prazo, deve ser considerado importante em uma estratégia regional ou local, que transcende a dimensão energética. Na realidade compõe um arranjo de políticas de cunho social (saúde, saneamento, entre outros), regional (desenvolvimento local) e ambiental (mitigação de impactos dos resíduos) (EPE, 2014).

2.3.1. Resíduos Sólidos Urbanos

2.3.1.1. Definição

Conforme é descrito na Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei Federal 12.305/2010, são considerados resíduos sólidos os materiais, substâncias, objetos ou bens oriundos de atividades humanas e descartados, da qual a destinação final seja nos estados sólidos ou semissólidos, assim como gases e/ou líquidos armazenados em recipientes cujo lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água sejam impossibilitadas, ou demandem de soluções técnicas ou economicamente inviáveis, dada a melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010 *apud* SANTANA, 2016). De forma mais ampla, os resíduos compreendem os diversos artigos utilizados pela sociedade e que tenham perdido sua utilidade para desempenhar o fim a que foram inicialmente propostos (EPE, 2014).

A ABNT NBR 10.004:2004 define os Resíduos Sólidos como:

“(…) Resíduos nos estados sólido e semissólidos, 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 técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

Os Resíduos Sólidos são popularmente chamados de lixo, no entanto, considerando a linguagem técnica, lixo é sinônimo de Resíduos Sólidos caracterizados pelos materiais residuais descartados e oriundos das atividades humanas. A palavra lixo é derivada do termo latim *lix*, cujo significado é “cinza”. Os dicionários trazem as seguintes definições: sujeira, imundice, coisa (s) inútil (eis), velhas, e sem valor (LUCKE, 2012).

Conforme Calderoni (1997), lixo ou resíduo é todo material que um agrupamento humano ou uma dada sociedade desperdiça, sendo que isso pode ocorrer por vários motivos, a

exemplo, devido à falta de mercado para produtos recicláveis, à problemas relacionados a disponibilidade de informação e/ou de meios para reaproveitamento.

No entanto, deve-se evidenciar a relatividade da característica que torna o lixo inútil, haja vista que apesar de não possuir valor para quem o descarta, o lixo pode ter utilidade em um novo produto e/ou processo (LIMA, 2015).

2.3.1.2. Classificação

Segundo a ABNT (2004) *apud* Rosado (2015), a classificação dos Resíduos Sólidos tem como objetivo principal identificar informações que permitam o seu gerenciamento. Desta forma, pertencem as etapas da classificação, o reconhecimento da atividade ou processo que lhe originou, as características e seus constituintes, assim como a comparação destes com os resíduos e substâncias com impacto ao meio ambiente e a saúde reconhecido.

Existem diversas formas de classificação dos Resíduos Sólidos, sendo as mais comuns quanto à natureza e quanto aos potenciais de contaminação do meio ambiente (MONTEIRO *et al.*, 2001 *apud* SANTANA, 2016). Neste trabalho foi utilizada a classificação descrita na ABNT NBR 10.004, quanto aos riscos potenciais de contaminação.

Nesse trabalho foi utilizado a classificação descrita na ABNT NBR 10.004 (2014), quanto aos riscos potenciais de contaminação:

a) resíduos classe I (perigosos): são aqueles que apresentam inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, ou seja, que apresentam risco à saúde pública ou ao meio-ambiente, quando gerenciados de forma inadequada;

b) resíduos classe II (não perigosos): esses resíduos subdividem-se em Classe II A (não inertes) e Classe II B (inertes);

b1) resíduos classe II A (não inertes): são aqueles que não apresentam características similares aos Resíduos Classe I (perigosos) ou de Resíduos Classe II B (inertes). No entanto podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;

b2) resíduos classe II B (inertes): São aqueles resíduos que quando em contato com água não solubilizam à concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água.

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010) classifica os resíduos sólidos com base na origem ou natureza a em:

a) resíduos domiciliares: os originários da vida diária nas residências, ou seja, 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: compreende os itens “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os resíduos oriundos dessas atividades, exceto os itens “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, com exceção dos itens em “c”;
- f) resíduos industriais: oriundos dos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde ou hospitalares: são aqueles originados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS);
- h) resíduos da construção civil: os oriundos de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, abrangendo os provenientes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os oriundos das atividades agropecuárias e silviculturais, abrangendo os relativos aos insumos utilizados nessas atividades.

2.3.1.3. Caracterização e Composição

Segundo Monteiro *et al.* (2001) *apud* Santana (2016), a composição e as características físicas, químicas e biológicas dos Resíduos Sólidos podem variar de acordo com fatores geográficos, culturais, sociais, econômicos e climáticas.

Conforme Lucke (2012), a composição dos Resíduos Sólidos Urbanos é de materiais putrescíveis (matéria orgânica), papéis e papelões, plásticos, madeiras, metais ferrosos e não ferrosos, vidros e outros (borrachas, cinzas, couro, entulhos, espumas, solos, graxas, óleos, tecidos e, resíduos industriais não perigosos).

A abordagem disponibilizada no tratamento das informações acerca dos resíduos sólidos pode ser bem quantificada a partir da própria dificuldade em se obter dados confiáveis sobre o tópico. Iniciando pelas estimativas sobre a geração de resíduos sólidos, as informações existentes no Brasil são escassos, falhos e conflitantes (HENRIQUES, 2004).

A base de dados de disponibilidade e composição dos RSU está diretamente relacionada a qualidade e disponibilidade de dados, fato que acarreta diversas deficiências para o caso

brasileiro. A composição dos RSUs brasileiro é estimada com base no Manual de Gerenciamento Integrado de Lixo, publicado em 1998 pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPTSP), que descreve que a composição inicial é 60% de fração orgânica, 5% de inertes e 35% de recicláveis (18% de papéis, 12% de plásticos, 3% de vidros e 2% de metais) (EPE, 2014).

2.3.2. Recuperação Energética do RSU

A disposição dos Resíduos Sólidos em aterro sanitário não é julgada como uma alternativa sustentável para o gerenciamento dos resíduos, haja vista que não representa como técnica adequada em face as atuais preocupações ambientais (HENRIQUES, 2004)

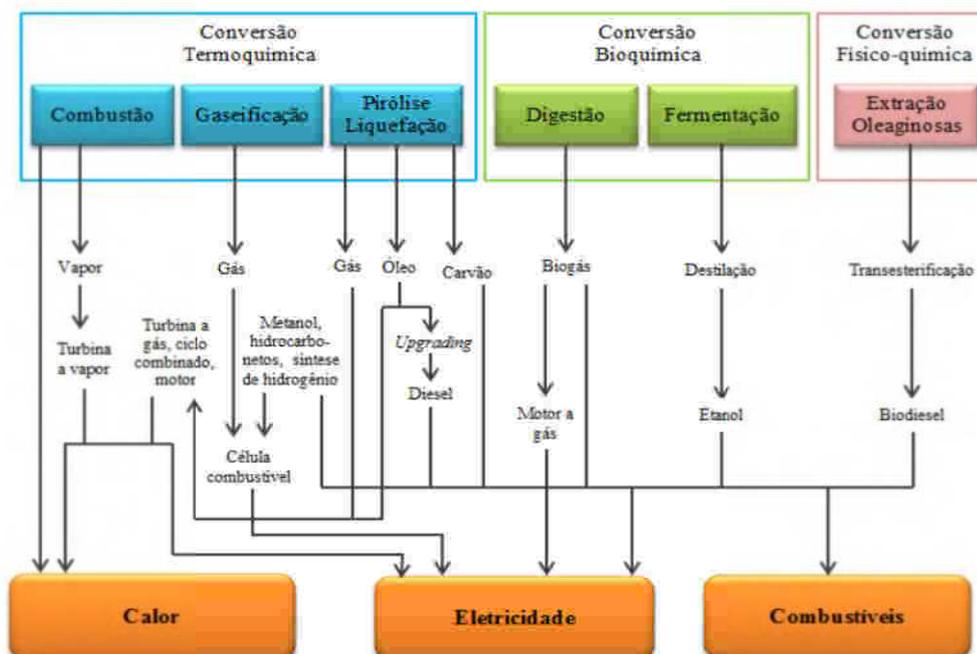
A recuperação energética dos RSU acontece através de processos térmicos que utilizam os resíduos ou seus subprodutos como combustível. Conforme supracitado, possuem tecnologias de aproveitamento consolidadas e suficiente maduras que promovem a perspectiva dos resíduos como matéria prima e não mais como um problema (DENTI, KROL, 1990; MUNIZ, 2004 *apud* GOMES, 2014).

Conforme Murphy (2004) *apud* Leme (2010) e EPE (2014), em se tratando do aproveitamento energético dos resíduos sólidos (*waste to energy*) existem diversos processos em que a energia (subproduto útil) é recuperada dos resíduos, uma fonte em princípio inutilizável. Atualmente, a tecnologia mais comum consiste na incineração direta dos resíduos, no entanto, com o uso de aterros sanitários, o composto gasoso resultante da decomposição do material orgânico, biogás, também pode ser convertido em energia útil.

O aproveitamento energético dos RSU apresenta soluções tecnológicas consolidadas, algumas tecnologias datam da década de 1960, as quais foram utilizadas em usinas implantadas na Europa, na China e na Índia. A recuperação energética dos RSU depende da escala de oferta dos materiais, com exceção do aterro, todas as demais tecnologias necessitam de quantidades superiores a 150 t/d. A suposição do potencial energético é obtida através do emprego de fatores de escala à disponibilidade dos RSU (EPE, 2014).

Segundo Pavan (2010), as tecnologias de aproveitamento energético dos RSU são classificadas e agrupadas de acordo com o seu princípio de conversão e sua rota tecnológica. As principais rotas de conversão dos RSU em energia elétrica consistem na conversão bioquímica, termoquímica e físico-química, sendo apresentadas nesse capítulo. A Figura 5 apresenta um fluxograma com as tecnologias.

Figura 5 – Tecnologias para aproveitamento energético dos RSU.



Fonte: Pavan (2010) *apud* Albarracin (2016)

2.3.2.1. Conversão Termoquímica

A conversão térmica consiste no aproveitamento energético dos resíduos sólidos através da incineração, podendo apresentar-se através da incineração direta (*mass burning*) ou a partir de técnicas que visam elevar o teor energético e a eficiência do processo. Nesse item são apresentadas as técnicas de conversão térmica dos RSU em energia, foco principal desse trabalho.

2.3.2.1.1. Combustão (Incineração direta)

O processo de incineração controlada do lixo começou a ser utilizado com intuito de reduzir o volume de resíduos destinados aos lixões e aterros. O processo apresenta reduções de massa da ordem de 70% e de 90% para o volume (LUCKE, 2012).

O processo de incineração dos resíduos sólidos utiliza fornos com altas temperaturas para promover a combustão completa do material, garantindo desta forma a destruição dos componentes orgânicos, a redução do material combustíveis das cinzas e o tratamento sanitário adequado. O processo de incineração é largamente utilizado em grandes cidades, haja vista que

proporciona a redução da quantidade de materiais enviados a aterros (HENRIQUES, 2004; UNEP, 2005 *apud* LEME, 2010).

O processo de incineração consiste no aproveitamento do poder calorífico dos resíduos sólidos através de sua combustão. Desta forma, para otimizar o processo faz-se necessário a combustão de materiais com maior poder calorífico como madeiras, papéis, plásticos e entre outros (HENRIQUES, 2004).

Conforme Henriques (2004), deve-se ter em mente que a incineração dos resíduos sólidos contribui com a redução da demanda por combustíveis de origem fóssil, sendo desta forma, considerada como uma fonte energética alternativa. A queima direta ou incineração em massa é o principal processo utilizado em usinas de incineração de resíduos sólidos urbanos. A técnica consiste na incineração bruta do material, com pouquíssimo ou nenhum tratamento prévio, exceção à remoção de materiais prejudiciais ao processo e/ou com grandes dimensões (LEME, 2010).

Devido à grande emissão de poluentes, no início de sua utilização, a incineração direta sofreu diversas críticas. No entanto, devido a regulação de rigorosos limites e a partir do desenvolvimento tecnológico dos sistemas de medição, controle e automação alcançados na última década, as instalações para incineração são consideradas hoje como a solução final para o processamento e recuperação energética dos RSUs (LEME, 2010; LUCKE, 2012).

Conforme Henriques (2004), a recuperação energética dos resíduos sólidos, para o caso da geração de energia elétrica, alvo deste trabalho, acontece através do aproveitamento do calor obtido após a combustão dos RSUs. Este aproveitamento acontece por intermédio de turbinas a vapor acopladas a geradores elétricos que convertem a energia cinética do vapor em energia elétrica. No entanto apresentam algumas especificidades devido a característica do combustível, mas chegam a produzir entre 350 e 950 kWh/t de resíduo processado (LEME, 2010; EPE, 2014).

De forma simplificada, a energia proveniente do calor obtido através da incineração dos resíduos é transportada a água circulando a alta pressão em um gerador de vapor. Na sequência, o vapor a alta pressão é expandido em uma turbina para produção de movimento (energia cinética) onde é transmitido a um gerador de energia elétrica através do acoplamento mecânico (turbina-gerador) com a consequente geração de eletricidade. Ao final, o vapor a baixa pressão é conduzido a um condensador, que após condensação é bombeada novamente para o gerador de vapor, reiniciando o processo (HENRIQUES, 2004).

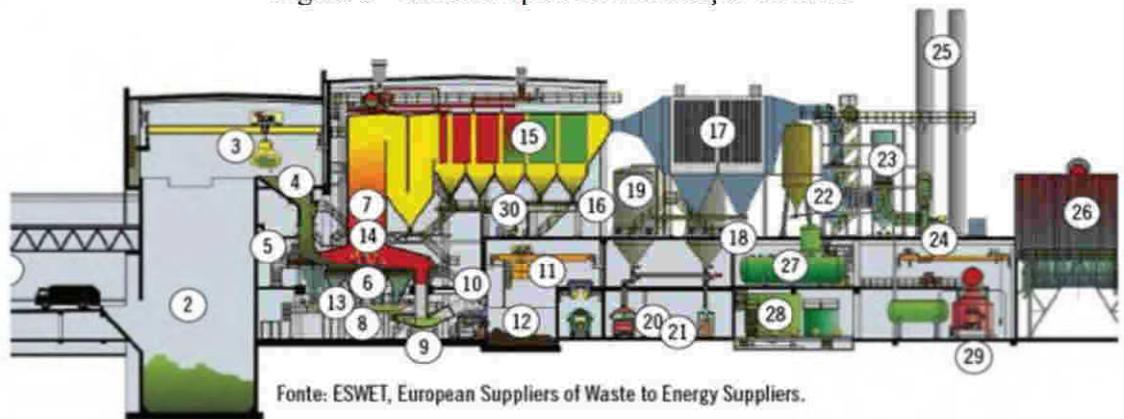
Com exceção da área de recepção do RSU, onde deve haver uma classificação do material para a estocagem, objetivando possibilitar a combinação e adequação do poder calorífico do combustível, todas as demais unidades são similares as usinas termelétricas convencionais (EPE, 2014).

A eficiência média das usinas de incineração para geração de eletricidade é de 18% e para a produção de calor de 63%, sendo menos eficiente em comparação às usinas convencionais devido a necessidade de menor temperatura e pressão, para mitigar os problemas de corrosão (REIMANN, 2006 *apud* LEME, 2010).

Segundo Menezes et al (2000) *apud* Leme (2014), as usinas de incineração de RSU possuem alto custo de implantação, operação e manutenção, principalmente considerando os sistemas de controle e tratamento de efluentes. Dessa forma, para garantir sua viabilidade econômica é necessário comercializar a eletricidade gerada. Para estes empreendimentos, a experiência indica que se tornam viáveis com capacidades a partir de 250t/dias de material processado.

A Figura 6 apresenta uma unidade típica de incineração direta de RSU, com seus respectivos subsistemas de alimentação, câmara de combustão, queimadores, caldeiras de recuperação, tratamento de gases, área de disposição e tratamento de resíduos.

Figura 6 - Unidade típica de incineração de RSU.



- | | | |
|---|--|--|
| 1 - Local de Recebimento de RSU | 11 - Talha de Cinzas de Fundo | 21 - Encasamento de Cinzas e Resíduos |
| 2 - Poço de Armazenamento de RSU (Bunker) | 12 - Poço de Armazenamento Auxiliar (Bunker Auxiliar) | 22 - Lavador de Gases |
| 3 - Ponte Rolante de RSU | 13 - Ar de Combustão Primário | 23 - Filtro de Mangas |
| 4 - Moega de Alimentação | 14 - Ar de Combustão Secundário + Sistema de Abatimento de NOx | 24 - Ventilador de Tiragem Induzida |
| 5 - Alimentador da Grelha | 15 - Caldeira de Recuperação de Calor | 25 - Chaminé |
| 6 - Grelha de Incineração | 16 - Transportador de Cinzas de Caldeira | 26 - Aerocondensador |
| 7 - Fornalha | 17 - Reator de Tratamento de Gases de Combustão | 27 - Tanque de Água de Alimentação |
| 8 - Transportador/Peneira de Cinzas | 18 - Transportador de Resíduos do Tratamento de Gases de Combustão | 28 - Planta de Tratamento de Água (Desmineralização) |
| 9 - Extrator de Cinzas de Fundo | 19 - Silo de Cinzas de Caldeira e Resíduos do Tratamento de Gases de Combustão | 29 - Turbina / Gerador |
| 10 - Peneira Vibratória | 20 - Estação de Carregamento de Cinzas e Resíduos | 30 - Sala de Controle |

Fonte: Abrelpe (2012) *apud* BRASIL (2013).

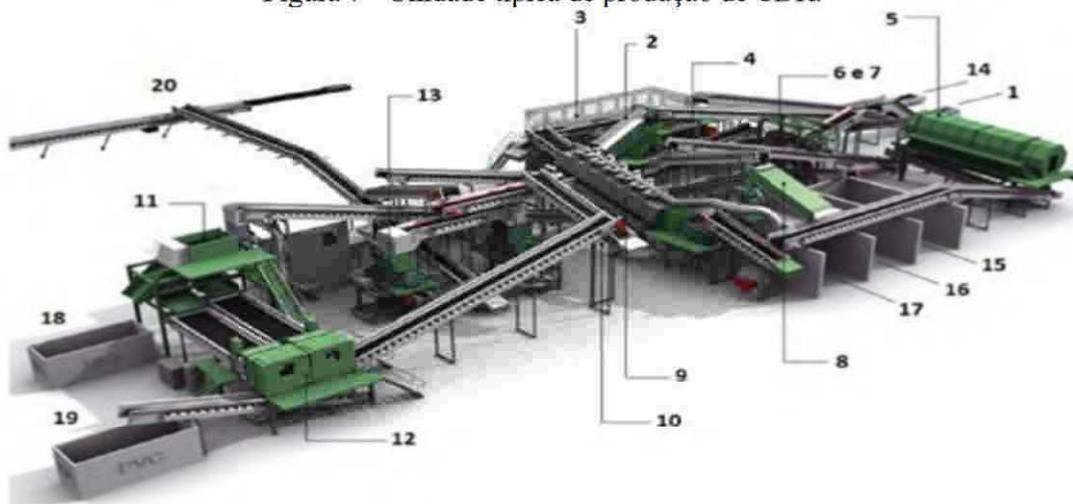
Uma forma de elevar a eficiência da combustão de uma usina típica de incineração de RSU, é através da utilização do Combustível Derivado de Resíduos (CDR). O CDR é produzido através da trituração dos RSU para posterior utilização como combustível em centrais geradoras de eletricidade e indústrias. Na Europa é conhecido pela sigla *Refuse Derived Fuel* (RDF), consistindo em materiais recuperados da coleta de resíduos com elevado poder calorífico (aproximadamente 18 MJ/kg) (BRASIL, 2013).

Conforme Brasil (2013), as principais etapas da produção de CDR são: triagem, que consiste na remoção de materiais indesejados, podendo ser realizada antes da coleta ou após o recebimento nos centros de processamento; trituração, necessária para a redução das dimensões e homogeneização do material; secagem, visa evitar a ocorrência de fermentação da matéria e melhorar o poder calorífico do composto; refino, consiste em um pós-tratamento que objetiva reduzir a presença de materiais indesejados que podem afetar a qualidade do combustível; peletização, visando elevar a densidade energética através da compactação do material.

Segundo Brasil (2013) a produção de CDR necessita de grande quantidade de energia, especialmente a eletricidade, devido ao elevado nível de tratamento mecânico exigido antes da trituração. No entanto, sua utilização torna-se viável caso o saldo energético final seja positivo, considerando as etapas desde o processo de coleta até o destino final dos resíduos da combustão.

As principais vantagens da utilização do CDR são o aproveitamento energético dos resíduos, a valoração dos resíduos como combustível, a possibilidade de substituir combustíveis fósseis, a redução das emissões e geração de poluentes, o prolongamento da vida útil dos aterros sanitários. No entanto, suas desvantagens são o alto consumo de energia para o tratamento, a contaminação do CDR pelos metais e ligas despreendidos na trituração (BRASIL, 2013). A Figura 7 apresenta uma unidade típica de produção de CDR.

Figura 7 - Unidade típica de produção de CDR.



<ul style="list-style-type: none"> 1 - Input: resíduos de coleta diferenciada (com baixo teor orgânico) e diâmetro < 1000 mm. 2 - Peneira de separação: classifica os resíduos em < 200 mm e > 200 mm. 3 - Cabine de separação manual: saída de madeira, papel/cartão entre 200-1000 mm. 4 - Peneira primária: entre 0 – 200 mm. 5 - Crivo rotativo: separa em duas frações: 0 – 50 mm e 50-200mm 6 e 7 - Separador magnético 8 - Peneira dinâmica (flip-flop): separa em duas frações 0 – 30 mm e 30 – 50 mm. 9 - Separador de duplo tambor: separação dos resíduos conforme frações leves, moderadas e pesadas. 10 - Tambor magnético: separação de materiais ferrosos das frações. 	<ul style="list-style-type: none"> 11 - Separador de corrente (tipo Eddy): separação de materiais não ferrosos das frações moderadas e pesadas. 12 - Separador de infravermelho: separação de materiais contendo cloretos das frações moderadas e pesadas. 13 - Peneira secundária: granulação paralela para produção do CDR. 14 - Entrada secundária: fardos de plásticos mistos 15 - Saída de materiais ferrosos 16 - Saída de frações finas entre 30-200mm 17 - Saída das frações finas entre 0-30mm
---	--

Fonte: Garb-Oil (2009) *apud* BRASIL (2013).

2.3.2.1.2. Gaseificação

A gaseificação consiste na oxidação parcial de combustíveis em condições subestequiométricas, caracterizando transformação dos combustíveis em gases. O processo é realizado na presença de vapor, ar ou oxigênio em quantidades rigidamente controladas, sua composição final é formada por hidrogênio (H₂), metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), nitrogênio (N₂), água (H₂O), C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, demais hidrocarbonetos em baixas quantidades e material contaminante particulado (LUZ, 2013).

Segundo Luz (2013), o processo de gaseificação de RSU ocorre em gaseificadores como resultado de grande diversidade de interações físico-químicas, que acontecem a altas temperaturas (superiores a 600 °C). Dessa forma, consiste em um processo extremamente complexo caracterizado por três reações distintas: reação de água-gás, de *Bouduard* e de hidrogaseificação.

Segundo Arena (2012) *apud* Luz (2013), a gaseificação é classificada de acordo com o agente de oxidação, podendo ser com ar, com oxigênio puro ou ar enriquecido com oxigênio, com vapor ou por plasma. O processo acontece devido a uma sequência de reações endotérmicas e exotérmicas, caracterizadas pelo processo de secagem, pirólise, combustão e gaseificação.

O poder calorífico do composto gasoso resultante da gaseificação está diretamente relacionado ao agente oxidante. Quando realizado com ar, produz um gás diluído em nitrogênio com poder calorífico variando de 4 a 7 MJ/Nm³, quando realizado na presença de ar enriquecido com oxigênio reduz a quantidade de nitrogênio elevando o poder calorífico. Na gaseificação com oxigênio puro obtém se um composto com conteúdo energético variando de 10 a 15 MJ/Nm³ livre de nitrogênio. Quando realizado na presença de vapor dá origem a um composto gasoso com poder calorífico de 15 a 20 MJ/Nm³ rico em hidrogênio (LUZ, 2013).

Seja qual for a tecnologia de gaseificação para aproveitamento energético do RSU empregada, o sistema será sempre composto pelas etapas de: recebimento e triagem; secagem, trituração e compactação; armazenagem; gaseificação; limpeza e tratamento do gás e; geração de energia (LUZ, 2013).

Devido ao fato de o gás oriundo do processo de gaseificação ser limpo no tratamento de purificação pode alcançar temperaturas mais altas durante a combustão, elevando a eficiência do processo em cerca de 30% comparado a incineração, no entanto sem potencializar o risco de corrosão dos sistemas. A grande vantagem da geração de energia através de combustíveis gasosos ocorre devido a facilidade em misturar o combustível com o comburente (oxigênio ou ar). Desta forma, a gaseificação de combustíveis sólidos se apresenta como uma alternativa mais eficiente quando comparada a outras tecnologias (HENRIQUES, 2004).

2.3.2.1.3. Pirólise/Liquefação

Denomina-se pirólise ou craqueamento, o processo de transformação térmica, catalisado ou não, de um material ou composto, na ausência de oxigênio (subestequiométrica), em diversos subprodutos. A clivagem dos compostos acontece aos poucos, à medida que passam pelas zonas de calor do reator. A pirólise é composta pelos subprocessos de volatilização, oxidação e fusão e acontece na faixa de temperatura que varia de 450°C a 1.600°C (GARCIA, 2006; LIMA, 1995 *apud* ALBARRACIN, 2016).

Os processos de pirólise e gaseificação são similares, haja vista que quando o material é pirolisado origina-se substratos nos estados sólidos, líquido e gasoso, ou seja, a pirólise é considerada uma gaseificação parcial. No entanto, quando toda a matéria orgânica é transformada em gás, acontece gaseificação total (JONES, 2010 *apud* CARVALHES, 2013).

Como resultados do processo de pirólise obtém-se: líquidos pirolenhosos (ácido pirolenhoso e alcatrão insolúvel), gases não condensáveis (nitrogênio e gás de síntese) e resíduos sólidos (carvão vegetal, vidros, metais e escória) (PAVAN, 2010; ALBARRACIN, 2016).

2.3.2.2. Conversão Bioquímica

Nesse item é apresentado a rota tecnológica de conversão bioquímica onde destacam os processos de digestão anaeróbica e fermentação. Esta rota tecnológica apresenta duas

tecnologias distintas, a primeira tem como resultado a produção de um composto gasoso rico em metano (CH_4) e em dióxido de carbono (CO_2) e a segunda tem como produto a formação de álcool (HENRIQUES, 2004; PAVAN, 2010; ALBARRACIN, 2016).

Segundo Banco Mundial (2004) *apud* Leme (2010), devido ao nível de tratamento utilizado antes da sua utilização, o biogás pode ser classificado em três categorias: combustível de baixo teor, quando o gás sofre um tratamento mínimo consistindo somente da remoção de condensado; combustível de médio teor, quando o gás sofre um tratamento mais apurado e acarreta a remoção de umidade adicional, de compostos gasosos mercaptanos e orgânicos voláteis; combustível de alto teor (Gás Natural Sintético – SNG) que consiste em extenso pré-tratamento com intuito remover além da umidade, o dióxido de carbono e outras impurezas.

2.3.2.2.1. Digestão Anaeróbica

A digestão anaeróbica consiste no processo de decomposição dos resíduos orgânicos para a produção de biogás e compostos orgânicos. O processo pode acontecer de forma natural, como acontece em aterros sanitários, controlados ou lixões, dando origem ao gás do lixo; ou pode ser acelerado através da utilização de reatores, em ambiente controlado (HENRIQUES, 2004, PAVAN, 2010; ALBARRACIN, 2016).

Segundo Henriques (2004), devido a restrições governamentais e institucionais cada vez mais rigorosas, a tecnologia do Gás do Lixo (GDL) advém da necessidade do homem em utilizar de maneira proveitosa os gases oriundos da disposição de resíduos em aterros e lixões. Objetivando o resgate e aproveitamento destes para outros fins que contribuam para a redução da emissão descontrolada para a atmosfera.

O aproveitamento do GDL ou biogás é a forma mais simples de utilização. O gás do lixo é uma mistura gasosa cuja composição varia de 40 a 55% de metano, de 35 a 55% de dióxido de carbono e de 0 a 20% de nitrogênio, com poder calorífico de cerca de 5.800 kcal/m³ (de 14,9 a 20,5 MJ/m³). (HENRIQUES, 2004)

A geração do GDL ocorre a partir da decomposição anaeróbica dos resíduos orgânicos em aterros sanitários. A geração de energia elétrica com este gás está disponível e é amplamente utilizada em todo o mundo (HENRIQUES, 2004).

Após o aterro dos Resíduos Sólidos a matéria orgânica presente sofre reações bioquímicas de oxidação. Os materiais próximos a superfície, na presença de oxigênio, oxidam aerobicamente tendo como produtos resultantes o dióxido de carbono (CO_2) e vapor d'água. Já

a matéria disposta em profundidade, na ausência de oxigênio, está sujeita a digestão anaeróbica (principal processo). A digestão anaeróbica ocorre em três etapas, na primeira, as bactérias hidrolisam o material complexo em moléculas solúveis; na sequência estas moléculas são convertidas em ácidos orgânicos simples; finalmente, os ácidos são quebrados em metano e dióxido de carbono, e o carbono reduzido em hidrogênio (THEMELIS, 2007 *apud* LEME, 2010).

A produção e a extração do gás ocorrem de diversas formas, algumas vezes com técnicas otimizadas e caras ou mais simples e baratas. A extração normalmente ocorre através de tubos, sendo a técnica mais simples através da inserção de tubos verticais. No entanto, em aterros planejados para este propósito, tubos horizontais podem ser instalados antes da deposição dos resíduos (WILLUMSEN, 2001; HENRIQUES, 2004).

Segundo USEPA (2008) *apud* Leme (2010), a taxa de recuperação do biogás, é extremamente dependente da tecnologia utilizada, sendo em média de 75%, podendo atingir 90% em aterros planejados ou menos de 50% em aterros mal operados e planejados. Com intuito de minimizar a perda do biogás e a entrada de oxigênio são desenvolvidos e utilizados sistemas avançados de impermeabilização e sistemas ativos de sucção.

O sistema padrão de aproveitamento do GDL pode ser dividido em quatro estágios: sistema de coleta, sistema de compressão, sistema de tratamento e *flare*.

- Sistema de coleta: é composto por tubos que podem ser dispostos de forma vertical ou em trincheiras (horizontal), que são posteriormente conectados a uma tubulação lateral que conduz o gás ao coletor principal. O sistema deve ser projetado com objetivo de permitir que o fluxo seja monitorado e controlado (MUYLAERT, 2000, WILLUMSEN, 2001 *apud* HENRIQUES, 2004).

- Sistema de extração/compressão: consiste em um ou mais compressores que serve para sugar o gás dos poços de coleta, assim como para a compressão do gás antes da alimentação do sistema de queima. É dimensionado em função do fluxo de gás e da taxa de compressão necessária para o correto funcionamento do sistema de queima (MUYLAERT, 2000 *apud* HENRIQUES, 2004).

- Sistema de tratamento: tem como finalidade principal a remoção do condensado, visando a melhoria da qualidade do gás, evitando o bloqueio do sistema e a falha do sistema de conversão energética. Existem diversos métodos, técnicas e equipamentos cuja aplicabilidade e eficácia dependem das características do resíduo local, do custo e das regulamentações vigentes (HENRIQUES, 2004).

- Sistema de queima: é composto por um dispositivo que permite a recuperação energético através da queima do gás. Pode ser composto simplesmente por um equipamento denominado *flare*, que serve para promover a ignição e conseqüente queima do gás ou por outros sistemas como motores de combustão interna. Os *flares* podem ser do tipo aberto ou enclausurado e são necessários para o controle do excesso de gás (MUYLEAERT, 2000, WILLUMSEN, 2001; *apud* HENRIQUES, 2004).

Segundo Henriques (2004), o aproveitamento do GDL, assim como para qualquer outra fonte apresenta vantagens e desvantagens. As principais vantagens são: a redução das emissões de gases do efeito estufa (metano); baixo custo de implementação e a possibilidade de ser utilizado para geração de energia. Suas desvantagens são: a ineficiência da recuperação do gás (da ordem de 40%); inviabilização de utilização em locais afastados do centro de geração; possibilidade de ocorrência de explosões e autoignição devido a elevada concentração de gases. A Figura 8 apresenta uma ilustração básica do aproveitamento do gás do lixo.

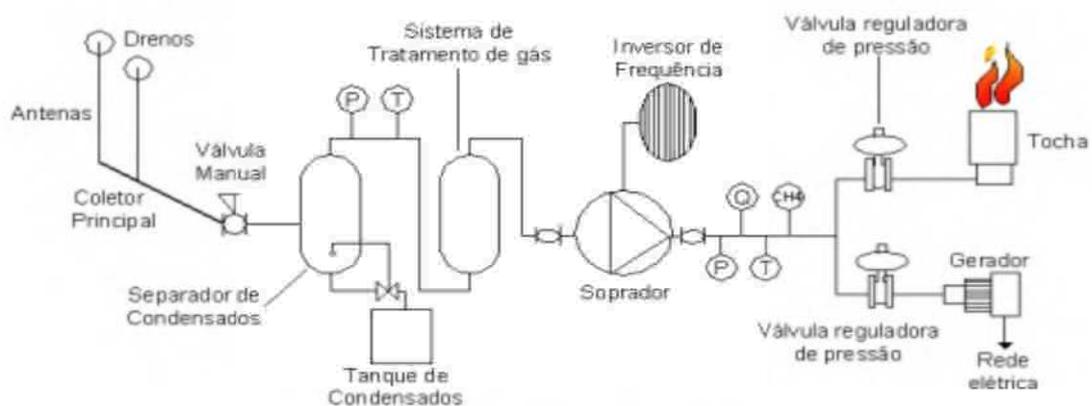
Figura 8 – Aproveitamento do biogás em aterro sanitário.



Fonte: Ruthmann (2013) *apud* Infiesta (2015)

A Figura 9 apresenta o esquema do processo de captação e tratamento do GDL.

Figura 9 – Esquema do processo de captação e tratamento de biogás.



Fonte: IVIG (2005) *apud* EPE (2014)

A industrialização da digestão anaeróbica ocorreu a partir de 1859 através da implementação da primeira planta de digestão anaeróbica na Índia. Em 1895 a digestão anaeróbica fez diversas incursões na Inglaterra, onde o biogás era recuperado de estações de tratamento de esgoto e serviam para promover a iluminação das ruas (VERMA, 2002).

A partir da compreensão do controle do processo de digestão anaeróbica foram desenvolvidas técnicas e equipamentos mais sofisticadas. Sendo a utilização de tanques fechados, com controle da temperatura e de sistemas de mistura, visando otimizar a digestão anaeróbica (HENRIQUES, 2004).

Segundo Henriques (2004), a digestão anaeróbica acelerada baseia-se na degradação da matéria orgânica na ausência de oxigênio. Este processo proporciona a produção de uma mistura gasosa com teor energético de 20 – 25 MJ/m³, cujo volume é composto por 40 - 55% de metano (CH₄), 30 - 45% de dióxido de carbono (CO₂), compostos sulfurosos (200 – 4.000 ppm de volume) e gases inertes, associado a um composto que pode ser utilizado como adubo ou condicionador de solo. A produção de biogás varia de 100 a 250 m³ por tonelada de Resíduo Sólido Orgânico processado.

Segundo Verma (2002), com o passar do tempo a tecnologia foi ficando cada vez mais complexa e aprimorada não se limitando ao tratamento de resíduos de agricultura e/ou animal, sendo desta forma ampliada para o tratamento de resíduos sólidos urbanos e industriais. Considerando uma eficiência de conversão média de 31%, das plantas de geração de eletricidade, a energia elétrica gerada a partir da combustão do metano oriundo do processo de digestão anaeróbica varia de 48 a 104 kWh/t de resíduos sólidos urbanos processado.

A digestão anaeróbica já é uma tecnologia bastante difundida em diversos países, apresentando soluções comerciais com capacidade do reator variando de 70 a 5.000 m³. As aplicações do biogás gerado são variadas, podendo servir para aquecimento do próprio digestor no caso de menores capacidades, assim como, em grandes sistemas podendo chegar a 2 MW (HENRIQUES, 2004).

Existem diversos processos para a digestão anaeróbica, podendo ser a temperatura termofílica ou mesofílica, através da fermentação seca ou úmida, monofásica ou bifásica, com reatores simples, múltiplos estágios ou batelada, cada um com suas vantagens e desvantagens. No entanto, os processos de digestão anaeróbica acelerada mais conhecidos são: o Waasa, Finlandês; o Valorga, Francês; e DRANCO, Belga (VERMA, 2002).

De forma geral, os processos de digestão anaeróbica podem ser divididos em quatro estágios: pré-tratamento, digestão do resíduo, recuperação do gás e tratamento dos resíduos.

- pré-tratamento: esse estágio tem como objetivo a remoção de materiais indesejáveis e recicláveis visando obter um composto homogêneo. Pode ser realizado através da coleta seletiva ou de forma mecânica (VERMA, 2002; VERSTRAETE, 2002 *apud* HENRIQUES, 2004);
- digestão do resíduo: no interior do digestor os resíduos são diluídos, com água pura, de esgoto ou de reuso, até atingir as características necessárias permanecendo até completar o tempo de contenção determinado (HENRIQUES, 2004);
- recuperação do gás: o biogás obtido do estágio anterior é tratado com objetivo de obter melhor qualidade (HENRIQUES, 2004);
- tratamento dos resíduos: o resíduo do digestor é desidratado, tendo os bio-sólidos tratados aerobicamente para obter um composto final, e o efluente é reciclado podendo ser utilizado na próxima diluição (HENRIQUES, 2004).

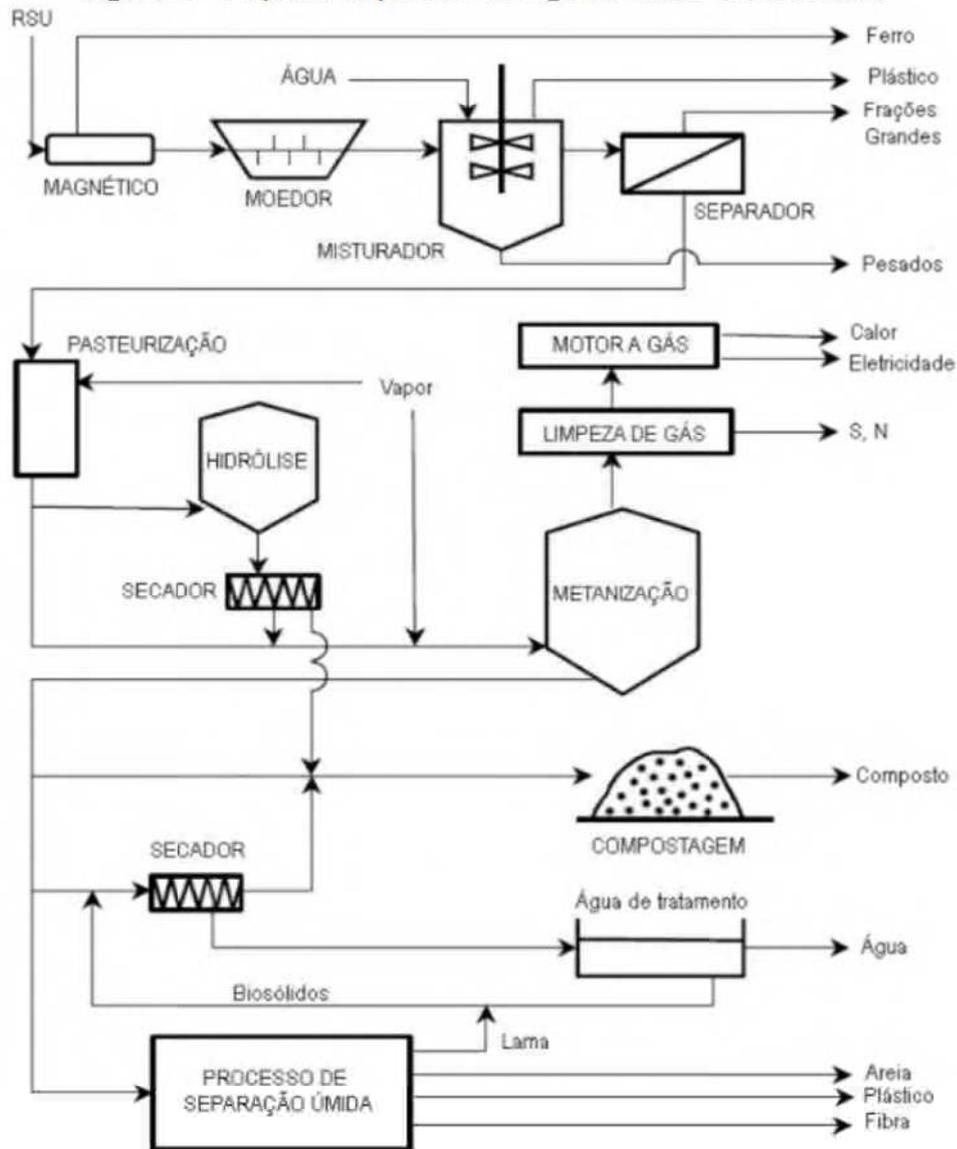
Segundo Verma (2002), a digestão anaeróbica ocorre na presença de microrganismos anaeróbicos, a temperatura de 30 a 65°C e ausência de oxigênio consistindo na biodegradação dos materiais orgânicos. Desta forma, o processo de digestão anaeróbica é consequência de uma sequência de interações metabólicas, que ocorrem em três estágios básicos: liquefação/hidrólise, acetanogênese e metanogênese.

De forma simplificada, a hidrólise ocorre quando determinados microrganismos secretam enzimas que hidrolisam os materiais poliméricos em monômeros como a glicose e os aminoácidos. Que são posteriormente convertidos, na acetanogênese, em ácidos graxos altamente voláteis, como hidrogênio (H₂), gás carbônico (CO₂) e ácido acético. Na metanogênese, etapa final, o hidrogênio (H₂) e o gás carbônico (CO₂) em acetato de metano (CH₄) (VERMA, 2002).

No processo de digestão anaeróbica acelerada pretende-se incrementar a velocidade de degradação dos resíduos, desta forma a taxa a qual os microrganismos crescem é de suma importância. Para isso, alguns parâmetros operacionais do digestor são controlados, entre eles: a composição dos resíduos (sólidos voláteis), o nível de pH (valor ótimo de 5,5 a 8,5), temperatura (termofílica de 20 a 40°C e mesofílica de 50 a 65°C), taxa de carbono para nitrogênio (relação C/N entre 20 a 30), conteúdo de Sólidos Totais (ST)/Taxa de Carga Orgânica (TCO), tempo de retenção (de 10 a 40 dias, varia conforme a tecnologia, temperatura e composição dos resíduos), velocidade de mistura (homogeniza o composto, previne a formação de espuma e evita gradiente de temperatura) e composto digerido (a lama residual

deve ser removida e pode ser vendida após tratamento como adubo orgânico) (VERMA, 2002; HENRIQUES, 2004).

Figura 10 – Esquema do processo de digestão anaeróbica acelerada.



Fonte: Vandevivere et al (2002) *apud* Silva (2008)

Os biodigestores anaeróbicos mais comuns são o de estágio simples, múltiplos e batelada, comparados a partir da sua performance biológica, técnica e confiabilidade. O biodigestor de batelada é o mais simples e barato, no entanto apresenta como ponto negativo a grande área ocupada e a baixa produção de biogás. O biodigestor de múltiplos estágios possui como vantagem a taxa de alimentação constante, porém como desvantagem é tido como um sistema caro e necessita que o material seja removido da alimentação do segundo estágio. O digestor de um estágio utiliza somente um reator para as fases acidogênica e metanogênica sendo disparado o mais utilizado em sistemas industriais. Estes sistemas ainda podem ser

classificados em seco ou úmido e baixo e alto teor de sólidos, cada um com suas respectivas vantagens e desvantagens (VERSTRAETE, 2002 *apud* HENRIQUES, 2004).

Da mesma forma que no GDL, este sistema possui três componentes básicos: sistema de coleta, sistema de tratamento e sistema de recuperação energética. O biogás pode ser convertido em energia útil de várias formas, como combustível em turbinas e Motores de Combustão Interna (MCI) para geração de energia elétrica, como combustível para fogões, caldeiras e demais dispositivos para geração de calor, em ciclo combinado para geração de eletricidade e calor, além de possibilitar após tratamento (*syngas*) ser transportado em gasodutos e utilizado veículos como substituto ao gás natural e em células combustíveis (HENRIQUES, 2004).

2.3.2.2.2. Fermentação

Na fermentação os açúcares presentes no material são transformados em álcool devido a ação de microrganismos (fungos e/ou leveduras). Os compostos finais são separados através do processo de destilação.

2.3.2.3. Conversão Físico-química

Esta rota tecnológica envolve o processamento físico-químico dos produtos resultando na obtenção de óleos vegetais transformados em biodiesel. O principal processo dessa rota tecnológica consiste na transesterificação, que utiliza de catalizadores enzimáticos, ácidos ou alcalinos associado a etanol ou metanol (PAVAN, 2010).

Segundo Garcia (2006) a transesterificação consiste no processo que descreve uma série de reações orgânicas em que um éster é convertido em outro através da transição de grupos alcóxidos. Este processo é de suma importância energética, haja vista que seus subprodutos estão tornando-se substitutos do óleo diesel mineral.

2.4. Trabalhos Relacionados

Existem diversos trabalhos que tratam sobre o tema do aproveitamento energético dos RSU, a seguir são relacionados alguns dos quais serviram como base para nortear essa pesquisa científica.

Henriques (2004) traça um panorama da situação dos resíduos no Brasil e analisa três tecnologias de aproveitamento energético dos RSU, gás do lixo, incineração e digestão anaeróbica acelerada, destacando os aspectos ambientais econômicos e tecnológicos de cada tecnologia.

Leme (2010), realiza um estudo de caso no aterro municipal de Betim/MG, comparando diferentes alternativas de destinação dos resíduos sólidos municipais. Analisa os aspectos técnicos e ambientais em quatro cenários distintos, sejam eles: aterro sanitário sem aproveitamento energético; com aproveitamento do biogás em motores de combustão interna; em turbinas a gás e; sistema de incineração.

Pavan (2010) realiza uma análise, considerando as peculiaridades brasileiras, das tecnologias de aproveitamento energético localmente viáveis. E propõem diretrizes que potencialize a recuperação energética dos RSU para aplicação no Brasil.

Figueiredo (2011) avalia, no estudo de caso realizado no município de Caieiras/SP, no aterro Essencis (CTR Caieiras), a viabilidade técnico-econômica do aproveitamento energético do biogás proveniente da decomposição dos resíduos depositados. O estudo demonstra que a estimativa de captação é próxima ao volume real de gás captado e valida a viabilidade econômica do GMG de 230 kW instalado no local. Além de apontar que o resultado econômico seria melhor caso o gerador fosse substituído por outro de maior capacidade.

Barin (2012) desenvolve uma metodologia de seleção e decisão, a partir da lógica difusa com base em regras e conjuntos de decisão *fuzzy multicriterial*, para sistemas de geração de eletricidade com RSU. A metodologia é validada através de um estudo de caso realizado no aterro sanitário Caturrita II, localizado na cidade de Santa Maria/RS. Importante frisar que a metodologia foi aperfeiçoada originando um sistema genérico que pode ser utilizado para a seleção de quaisquer sistemas de geração e armazenamento energético.

Lucke (2012), com base nas diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), analisa os aspectos econômicos e socioambientais do processamento completo dos resíduos sólidos, através do modelo *Waste Process Center* (WPC) com foco na geração de eletricidade e na viabilidade aplicação nos municípios brasileiros.

Luz (2013) analisa a viabilidade econômica da implantação de usinas de gaseificação de RSU, nos municípios brasileiros, com foco na produção de eletricidade. Os municípios são classificados de acordo com sua faixa populacional, os equipamentos e materiais considerados estão disponíveis no Brasil. No estudo, através de 3 cenários, são avaliados os custos e rendimentos do projeto definidos através de indicadores econômicos.

Gomes (2014) avalia o potencial energético dos RSD do município de Ponta Grossa/PR a partir da rota tecnológica da incineração. A análise dos resíduos, considerou duas coletas (resíduo padrão e resíduos do aterro sanitário), sendo avaliada a partir de três variáveis dependentes, composição gravimétrica, análise imediata e poder calorífico. O estudo estima que a eletricidade produzida, em cenário ideal, seria suficiente para abastecer 55.500 residências e 30.997 residências considerando 100% de reciclagem.

Leite (2016) avalia a viabilidade econômica, com foco na realidade do estado de São Paulo, dos processos de digestão anaeróbica e de incineração para o aproveitamento energético dos RSU. Tendo como resultado, que caso sejam respeitadas todas as premissas da PNRS, o processo de digestão anaeróbica seria mais apropriado para as regiões estudadas.

Santana (2016), em sua pesquisa, estima o potencial energético dos RSU que serão destinados ao aterro sanitário em implantação no município de Arapiraca/AL. O estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica da geração de eletricidade, tendo como resultado o potencial de abastecimento de 228.772 habitantes com a energia gerada durante a vida útil do aterro.

3. METODOLOGIA

Este capítulo descreve a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho com detalhamento do *loco* e da finalidade, assim como a origem, os procedimentos e as técnicas para a coleta e análise dos dados.

A finalidade e objetivo dessa pesquisa científica foi avaliar a viabilidade técnica e econômica para a implantação de uma unidade de recuperação energética de RSU em Campo Grande/MS. Desta forma, trata-se de uma pesquisa de natureza quantitativa, ou seja, que utilizará dados numéricos, sistematicamente, organizados.

O presente trabalho classifica-se como uma pesquisa aplicada, haja vista que o conteúdo e conhecimento produzido destina-se a aplicação prática, com objetivo de resolver a problemática central. Esta pesquisa possui natureza exploratória, pois busca o entendimento das especificidades relativas à recuperação energética dos RSUs, associado a análise de viabilidade técnica e econômica do empreendimento considerando as características do município de Campo Grande/MS.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados dados secundários, obtidos através de pesquisa e revisão de literatura científica disponível em livros, teses, dissertações, artigos, notas técnicas e demais textos indicados no capítulo “Referências bibliográficas”. Registra-se que não houve coleta de dados primários durante a execução desta pesquisa.

O presente estudo foi idealizado após a condução de pesquisa bibliométrica acerca de soluções e alternativas para geração energética com baixo impacto ambiental. Entretanto, apresenta-se como fonte principal as pesquisas desenvolvida por: Lucke (2012), que tratou dos aspectos econômicos e socioambientais para utilização do processamento completo tipo *Waste Process Center (WPC)* para geração de eletricidade; Gomes (2014), que avaliou o potencial energético dos Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) de Ponta Grossa/PR por meio da incineração e; Leite (2016) que analisou a viabilidade econômica do aproveitamento energético dos RSU através dos processos de digestão anaeróbica e incineração.

As etapas utilizadas no desenvolvimento desse trabalho foram:

- a) estudo sobre as alternativas, tecnologias e soluções para aproveitamento e recuperação energética dos RSUs;
- b) caracterização física, ambiental e socioeconômica de Campo Grande/MS;
- c) análise das características físico-químicas dos RSUs de Campo Grande/MS;
- d) avaliação do conteúdo energético dos RSUs de Campo Grande/MS;

e) análise da viabilidade técnico-econômica da URE de RSU em Campo Grande/MS.

3.1. Alternativas, Tecnologias e Soluções para a Recuperação Energética dos RSUs

A primeira etapa consistiu no estudo sobre as alternativas, tecnologias e soluções para geração de energia através dos RSUs e RSDs. Por se tratar de uma etapa extremamente importante, realizou-se a pesquisa bibliométrica acerca das alternativas, rotas tecnológicas e soluções.

Segundo Lucke (2012), Gomes (2014) e CEMPRE (2010) *apud* Leite (2016), a incineração é o processo de aproveitamento energético dos RSU mais utilizado no mundo, com diversas unidades comerciais em operação, principalmente em países com disponibilidade limitada de área. Conforme Paro *et al.* (2008) *apud* Leite (2016) o processo de incineração produz cerca de 4 vezes mais eletricidade comparado ao aterro sanitário, emitindo 10 vezes menos CO₂.

Para Oliveira (2004), o aproveitamento energético dos RSU, através da incineração controlada, é justificado devido à existência de sistemas altamente tecnológicos, que proporcionam elevadas eficiências, baixas emissões de poluentes e assegurado pela presença de uma indústria madura e consolidada, especialmente considerando os países da Europa, Ásia e América do Norte.

Salienta-se que esta tecnologia possui como benefício a redução da dependência de combustíveis fósseis, da emissão de gases do efeito estufa, do volume dos resíduos encaminhados ao aterro sanitário, associado ao fato de permitir o uso direto do material, não necessitando de tratamento inicial (HENRIQUES, 2004; LEME, 2010; LUCKE, 2012; GOMES, 2014; LEITE, 2016).

Conforme Henriques (2004), a incineração de RSU para fins energéticos caracteriza-se como a principal escolha devido a sua elevada eficiência de conversão energética. Ressalta-se que a partir da evolução dos sistemas estima-se que sua contribuição para a matriz energética nacional seja da ordem de 29,9 GWh. Segundo Pavan (2010), em 2010, o potencial brasileiro estimado para a geração de eletricidade através da incineração de RSU foi de 16 GW.

Assim, destaca-se que durante o desenvolvimento desta fase foram adquiridos conhecimentos acerca dos métodos, processos, condições operacionais, vantagens, desvantagens, além de informações sobre os requisitos para implantação. As alternativas,

tecnologias e soluções estão detalhados no Capítulo 2, “Referencial Teórico”, do presente trabalho. Desta forma, devido aos motivos supracitados, nessa pesquisa foi adotado a rota tecnológica de conversão termoquímica através do processo de incineração.

3.2. Análise das Características Físico-químicas dos RSUs de Campo Grande/MS.

A segunda etapa consistiu na estimativa da quantidade de RSU gerados diariamente, assim como a análise da composição gravimétrica, massa específica e composição elementar. Haja vista que, conforme Campo Grande (2017,2019), a partir da análise destas características permite planejar o método para tratamento e o processo de recuperação energética aplicável, ou seja, fundamentado em tecnologias adequadas.

Conforme Campo Grande (2017), a composição gravimétrica ou composição física dos resíduos sólidos indica a porcentagem que cada componente possui em relação à massa total da amostra que está se analisando. Este tipo de determinação é primordial para qualquer planejamento ou projeto relacionado com resíduos sólidos, sendo utilizado, dentre outros fins, para o dimensionamento de frotas de veículos coletores, dispositivos de acondicionamento, centrais de triagem, unidades de compostagem e de outras unidades da limpeza urbana.

Já a massa específica aparente pode ser definida como a massa do resíduo solto em função do volume ocupado livremente, sem qualquer compactação, expresso em quilogramas por metros cúbicos (kg/m^3). Em outras palavras, é a massa de resíduo solto lançada em um recipiente de volume conhecido, dividido pelo volume deste recipiente (CAMPO GRANDE, 2017).

Assim, a partir da pesquisa e revisão bibliográfica em literatura específica disponibilizada pelas entidades de administração pública federal, estadual e municipal foram obtidos as informações sobre o RSUs de Campo Grande/MS. Cita-se, em destaque, o Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Mato Grosso do Sul (SEMAGRO, 2017), Plano Nacional de Saneamento Básico (MCID, 2012), Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2017), Plano Municipal de Saneamento Básico (CAMPO GRANDE, 2012) e demais materiais citados nas referências bibliográficas.

No entanto, devido a problemas relacionado com a inexistência de uniformidade e similaridade nas condições de coleta existe uma certa dificuldade para estabelecer padrões para os RSUs. E, a partir dos estudos de Tchobanoglous *et al.* (1993) foram estabelecidos valores de

referência para a massa específica e teor de umidade dos RSUs (POLETTTO, 2008). A Tabela 2 apresenta os valores de referência obtidos por Tchobanoglous *et al.* (1993).

Tabela 2 - Massa específica e teor de umidade dos resíduos sólidos.

Classes de Resíduos	Tipo de Resíduo	Massa Específica (kg/m ³)		Umidade (% em peso)		
		Faixa	Típico	Faixa	Típico	
Domiciliares	Resto de alimentos (mistura)	131 - 481	291	50 - 80	70%	
	Papel comum e suas variantes simples	42 - 131	89	4 - 10	6%	
	Papelão	42 - 80	50	4 - 8	5%	
	Plásticos e polímeros sintéticos	42 - 131	65	1 - 4	2%	
	Resíduos Têxteis (tecidos, panos, couro e etc)	42 - 101	65	6 - 15	10%	
	Borrachas e polímeros naturais	101 - 202	131	1 - 4	2%	
	Trapos em geral (couro, estopas, forros e etc)	101 - 261	160	8 - 12	10%	
	Trapos em geral (couro, estopas, forros e etc)	59 - 225	101	30 - 80	60%	
	Madeiras, lascas e aparas	131 - 320	237	15 - 40	20%	
	Vidro, cerâmicas e materiais inertes	160 - 481	196	1 - 4	2%	
	Latas, embalagens e recipientes	50 - 160	89	2 - 4	3%	
	Restos de metais ferrosos	65 - 240	160	2 - 4	2%	
	Restos de metais não ferrosos	131 - 1151	320	2 - 4	3%	
	Cinzas, pó e poeira	320 - 100	481	6 - 12	8%	
	Hulha, cinzas e carvão	650 - 831	745	6 - 12	6%	
	Tralhas, fragmentos, restos e destroços	89 - 181	131	5 - 20	15%	
	Folhagens, galhos e etc	30 - 148	59	20 - 40	30%	
	Resíduos de talho e podas (grama, capim e vegetação)	208 - 291	237	40 - 80	60%	
	Comerciais	Restos de vegetação úmida (grama, capim e etc)	591 - 831	593	50 - 90	80%
		Restos de jardinagem (pedaços, fragmentos e etc)	267 - 356	297	20 - 70	50%
Restos de jardinagem (misturas, compostos e etc)		267 - 386	326	40 - 60	50%	
Restos de alimentos (úmidos)		475 - 949	540	50 - 80	70%	
Restos de equipamentos e ferramentas		148 - 202	181	0 - 2	1%	
Madeiras, lascas e aparas		110 - 160	110	10 - 30	20%	
Resíduos de jardinagem (vegetais)		101 - 181	148	20 - 80	5%	
Tralhas, fragmentos, restos e destroços (combustíveis)		50 - 181	119	10 - 30	15%	
Tralhas, fragmentos, restos e destroços (não combustíveis)		181 - 362	300	5 - 15	10%	
Construção Civil		Resíduos e restos de demolição (não combustível)	1000 - 1599	1421	2 - 10	4%
	Resíduos e restos de demolição (combustível)	300 - 400	359	4 - 15	8%	
	Resíduos, restos e sobras de construção (combustível)	181 - 359	261	4 - 15	8%	
	Concreto, argamassa e etc	1198 - 1801	1540	0 - 5	-	
Indústrias	Lama, sedimento e lodo químico (úmido)	801 - 1101	1000	75 - 99	80%	
	Cinzas, pó e poeira	700 - 899	801	2 - 10	4%	
	Trapos em geral (couro, estopas, forros e etc)	101 - 249	160	6 - 15	10%	
	Sucata de metal pesado (tiras, filetes e etc)	1501 - 1999	1780	0 - 5	-	
	Sucata de metal leve (tiras, filetes e etc)	498 - 899	739	0 - 5	-	
	Sucata em geral (metais misturados)	700 - 1501	899	0 - 5	-	
	Óleos, piche, asfalto e etc	801 - 1000	949	0 - 5	2%	
	Pó de serra	101 - 350	291	10 - 40	20%	
	Resíduos Têxteis (tecidos, panos, couro e etc)	101 - 220	181	6 - 15	10%	
	Madeiras, lascas e aparas	400 - 676	498	30 - 60	25%	
Agrícolas	Resíduos misturados (geral)	400 - 751	561	40 - 80	50%	
	Carcças e animais mortos	202 - 498	359	- - -	-	
	Restos de frutas misturados	249 - 751	359	60 - 90	75%	
	Restos de vegetais misturados	899 - 1050	1000	75 - 96	94%	
	Esterco (úmido)	202 - 700	359	60 - 90	75%	

Fonte: Tchobanoglous *et al.* (1993) - Adaptado pelo autor

Além dos aspectos relacionados as propriedades físicas (massa específica e teor de umidade), segundo POLETTTO (2008), outro fator que provoca a variação do conteúdo

energético dos RSUs, podendo até mesmo inviabilizar a recuperação energética através da incineração, está relacionado a composição química dos dejetos.

Com alternativa para contornar os problemas relacionadas a variação das propriedades básicas dos RSU, Kenji Iwai (2005), estabeleceu valores de referência acerca do conteúdo elementar dos compostos presentes nos rejeitos. A Tabela 3 apresenta os valores de obtidos por Kenji Iwai (2005).

Tabela 3 - Componentes elementares presentes nos resíduos sólidos.

Percentual do Composto em Massa Base Seca (%)						
Tipo de Resíduo	Carbono	Hidrogênio	Oxigênio	Nitrogênio	Enxofre	Cinzas
Restos de alimentos	48,0%	6,4%	37,6%	2,6%	0,4%	5,0%
Papel	43,5%	6,0%	44,0%	0,3%	0,2%	6,0%
Papelão	44,0%	5,9%	44,6%	0,3%	0,2%	5,0%
Plásticos	60,0%	7,2%	22,8%	0,0%	0,0%	10,0%
Têxteis	55,0%	6,6%	31,2%	4,6%	0,2%	2,4%
Borracha	78,0%	10,0%	0,0%	2,0%	0,0%	10,0%
Couro	60,0%	8,0%	11,6%	10,0%	0,4%	10,0%
Resíduos de jardim	47,8%	6,0%	38,0%	3,4%	0,3%	4,5%
Madeira	49,5%	6,0%	42,7%	0,2%	0,1%	1,5%
Vidro	0,5%	0,1%	0,4%	0,1%	0,0%	98,9%
Metais	4,5%	0,6%	4,3%	0,1%	0,0%	90,5%
Pó, cinza, e etc.	26,3%	3,0%	2,0%	0,5%	0,2%	68,0%

Fonte: Kenji Iwai (2005) – Adaptado pelo autor

Desta forma, para caracterização e estimativa das especificidades dos RSDs de Campo Grande/MS, as informações coletadas foram tabuladas com o auxílio de ferramenta computacional de edição de planilhas e os dados foram tratados considerando os resultados dos estudos de Tchobanoglous *et al.* (1993) e Kenji Iwai (2005).

Ressalta-se que nessa etapa foi utilizada a técnica de análise de dados do tipo quantitativa, com intuito de organizar os dados visando a apresentação de respostas para a problemática avaliada. Adicionalmente, registra-se que não houve análise experimental em campo para determinação das características físico-químicas dos RSUs do município.

3.3. Avaliação do Conteúdo Energético dos RSUs de Campo Grande/MS

Para avaliar a viabilidade de implantação de unidades de recuperação energética cuja operação se dá através de RSU é necessário calcular o conteúdo energético dos resíduos gerados diariamente. Segundo o *World Bank* (1999) *apud* Leite (2016), a viabilidade da incineração de RSU está intimamente relacionada com o poder calorífico do resíduo, assim como com a sua capacidade mínima de processamento.

Conforme EPA (1998) *apud* Polleto (2008), quando o aproveitamento energético dos RSUs ocorre através da incineração tendo como finalidade a produção de energia, faz-se necessário relacionar a composição do material com a energia possível de recuperação. Haja vista que a presença de determinados compostos assim como o teor de umidade reduz a energia final produzida.

O conteúdo energético dos combustíveis é determinado através do seu poder calorífico (PC), que pode ser determinado empiricamente a partir da análise elementar dos compostos presentes nos rejeitos, ou seja, através da análise do percentual mássico dos elementos químicos que formam os resíduos (DI CHIRICO, 2013; POLLETO, 2008). As Equações 1 e 2 apresentam a fórmula para o cálculo do PCS e PCI dos RSUs, com unidades no SI [kJ/kg]:

Equação do Poder Calorífico Superior:

$$PCS = 33900 * C + 141800 * \left(H - \frac{O}{8} \right) + 9200 * S \quad (1)$$

Equação do Poder Calorífico Inferior:

$$PCI = PCS - 2440 * (9 * H + W) \quad (2)$$

Onde:

C = Percentual mássico de Carbono (% u/u);

H = Percentual mássico de Hidrogênio;

O = Percentual mássico de Oxigênio;

S = Percentual mássico de Enxofre;

W = Percentual mássico do componente elementar.

Desta forma, o método utilizado para a avaliação do conteúdo energético (Poder Calorífico) dos resíduos sólidos urbanos utilizou as equações formuladas por Duolong e Mendelejev a partir da estratificação das características físico-químicas. Assim, foram obtidos os valores relativos ao Poder Calorífico Superior (PCS) e Inferior (PCI) dos RSUs de Campo Grande/MS.

Assim como no tópico anterior ressalta-se que foi utilizada a técnica de análise de dados do tipo quantitativa, com intuito de organizar os dados visando a apresentação de respostas para a problemática avaliada. Adicionalmente, registra-se que não houve análise experimental para determinação do conteúdo energético dos RSUs do município.

3.4. Análise de Viabilidade da URE de RSU em Campo Grande/MS.

Conforme Keelling (2008) após a ideia inicial de qualquer empreendimento, faz-se necessário a condução do estudo de viabilidade. De maneira simplificada, a análise de viabilidade avalia a exequibilidade do objeto, sendo considerado os modos, opções, estratégias, riscos, cenários e prováveis resultados.

Devido a delimitação do escopo e abrangência, o presente trabalho considerou somente a avaliação tecnológica (viabilidade técnica) e financeira (viabilidade econômica) para a implantação da URE de RSUs em Campo Grande/MS.

3.4.1. Análise de Viabilidade Técnica

A viabilidade técnica é caracterizada pela avaliação de condições e recursos técnicos que possibilitem a execução de um determinado empreendimento, produto, serviços e entre outros (KEELLING, 2008).

Desta forma, com intuito de assegurar a exequibilidade do projeto, a análise de viabilidade técnica objeto do presente trabalho utilizou a técnica da análise de dados quantitativa, ou seja, fundamentada em cálculos, estimativas e estatísticas considerando dados existentes de operações similares.

O projeto de uma URE de RSU deve ser avaliado considerando diversos fatores, entre eles: quantidade, característica e tipo de resíduos; processos, características e dimensionamento dos equipamentos; confiabilidade, flexibilidade e performance do sistema; adaptabilidades às normas; facilidade de operação e manutenção (POLLETO, 2008; DI CHIRICO, 2013).

Segundo Di Chirico (2013), o dimensionamento da URE deve considerar a quantidade de energia produzida através da incineração dos RSUs, ou seja, a partir da potência térmica da unidade. A potência térmica da unidade é resultado da disponibilidade e conteúdo energético dos RSUs processados. A Equação 3 apresenta a fórmula para cálculo da taxa de calor total da URE (\dot{Q}_{URE}) disponível nos RSU, no SI [kW = kJ/s].

$$\dot{Q}_{URE} = \frac{\dot{m}_{RSU} \cdot PCI_{RSU}}{3600} \quad (3)$$

Onde:

\dot{m}_{RSU} – Fluxo mássico de RSU, em kg/hora;

PCI_{RSU} – Poder Calorífico Inferior dos RSU, em kJ/kg;

Aplicando o fator de capacidade e o rendimento da caldeira e da turbina obtém-se a potência mecânica, ou seja, a potência disponível no eixo da turbina (POLLETO, 2008; DI CHIRICO, 2013; MAMEDE, 2017). A Equação 4 apresenta a fórmula para o cálculo da potência mecânica (P_{MEC}), no SI [kW].

$$Q_{URE} = P_{URE} \cdot F_{cap} \cdot \eta_{ciclo} \quad (4)$$

Onde:

Q_{URE} – Calor disponível para URE, em kW;

F_{cap} – Fator de capacidade da URE;

η_{ciclo} – Eficiência do ciclo térmico;

O gerador de eletricidade é equipamento responsável pela conversão da energia cinética disponível no eixo da turbina em eletricidade (MAMEDE, 2017). A potência elétrica no gerador (P_{GER}), no SI [kW], foi determinada através da Equação 5.

$$P_{GER} = P_{mec} \cdot \eta_{ger} \quad (5)$$

Onde:

P_{mec} – Potência mecânica disponível no eixo da turbina (kW);

η_{ger} – rendimento do gerador;

A energia elétrica total produzida disponível nos terminais do gerador é calculado considerando o fator de disponibilidade da planta e o regime de operação (MAMEDE, 2017). A Equação 5 apresenta a fórmula para o cálculo energia elétrica total [kWh/mês].

$$E_{total} = P_{ger} \cdot F_{disp} \cdot t_{ope} \quad (6)$$

P_{ger} – potência do gerador, em kW;

F_{disp} – fator de disponibilidade;

t_{ope} – regime operacional (h/mês).

Da mesma forma que as usinas de cogeração de energia movidas à biomassa vegetal, as URE de RSU utilizam parte da eletricidade total para alimentar os seus sistemas secundários. Assim, a energia excedente deve desconsiderar a parcela da energia autoconsumida (POLLETO, 2008; DI CHIRICO, 2013; MAMEDE, 2017). A Equação 6 apresenta a fórmula para o cálculo do saldo energético [kWh/mês].

$$E_{excedente} = E_{total} - E_{autoconsumo} \quad (7)$$

3.4.2. Análise de Viabilidade Econômica

A viabilidade econômica estuda os aspectos financeiros relacionado ao empreendimento, produto, serviço, entre outros. Os principais aspectos considerados são o investimento inicial, estimativa de custos (operacional, de manutenção e de mercado), receitas prováveis, retorno financeiro, potencial de mercado e entre outros (KEELLING, 2008).

A análise de viabilidade econômica considera os dados da viabilidade técnica, assim como os aspectos relativos à capacidade de processamento, investimento inicial, custos com mão de obra, operação e manutenção, taxas, impostos, receitas e despesas do empreendimento (POLLETO, 2008; MAMEDE, 2017).

Assim, com o intuito de obter os valores das máquinas e equipamentos necessários para a implantação da URE realizou-se o contato com fornecedores comerciais de tecnologias relacionados ao aproveitamento energético dos RSU. As principais informações solicitadas foram relacionadas à rota tecnologia, principais equipamentos, características e especificações, assim como os valores atuais para instalação, operação e manutenção. As informações coletadas foram tabuladas com o auxílio de ferramenta computacional de edição de planilhas.

De maneira geral, a viabilidade econômica dos projetos é determinada por 3 (três) indicadores econômicos, o *Payback*, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Através destes indicadores o investidor pode avaliar de forma simplificada a rentabilidade financeira e a atratividade do respectivo investimento.

O *Payback* ou tempo de retorno do investimento é o tempo decorrido entre o investimento inicial até o momento em que o fluxo de caixa torna-se positivo (LUZ, 2013). O *payback* pode ser simples (nominal) ou descontado (valor presente), o primeiro consiste no cálculo com valores nominais, ou seja, sem a aplicação de juros e o segundo a partir de valores trazidos ao presente, com a aplicação de juros (WOTTRICH, 2010).

O *Payback* simples é calculado através da Equação 8:

$$\text{Payback simples} = T \text{ quando } \sum F_{Ci} = I_0 \quad (8)$$

O *Payback* descontado é calculado pela Equação 9:

$$\text{Payback descontado} = \frac{F_{C_0}}{\frac{F_{C_1}}{(1+i)^1} + \frac{F_{C_2}}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_{C_n}}{(1+i)^n}} \quad (9)$$

Onde:

F_{C_0} – Fluxo de caixa inicial (R\$);

Fc_n – Fluxo de caixa futuro (R\$);
 i - Taxa mínima de atratividade;

O Valor Presente Líquido (VPL) é a soma da diferença entre as entradas e saídas (fluxo líquido) anuais, incluídos os juros e impostos, descontados o ano zero do investimento (LUZ, 2013). O VPL é dado pela Equação 10:

$$VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Fc_t}{(1+r)^t} \quad (10)$$

Onde:

I_0 - Investimento inicial;
 Fc_t - Fluxo de caixa do projeto no período t ;
 r - Taxa de desconto;
 t - Período de análise;
 n - Horizonte de análise do fluxo de caixa.

A Taxa Interna de Retorno (TIR), Taxa de Juros de Retorno, Taxa de Fluxo de Caixa descontado ou Índice de Rentabilidade, consiste na taxa de desconto a qual iguala o VPL a zero (LUZ, 2013). A TIR é calculada através da Equação 11:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{Fc_t}{(1+TIR)^t} = Zero \quad (11)$$

$$TIR > TMA, VPL > 0$$

$$TIR = TMA, VPL = 0$$

$$TIR < TMA, VPL < 0$$

Onde:

VPL - Valor Presente Líquido;
 Fc_t - Fluxo de caixa do projeto no período t ;
 TIR - Taxa Interna de Retorno;
 t - Período de análise;
 n - Horizonte de análise do fluxo de caixa;
 TMA - Taxa Mínima de Atratividade.

Conforme Henriques (2004) e Santos *et al.* (2017), a metodologia tradicional caracterizada no fluxo de caixa (simples e/ou descontado) apresenta algumas limitações para a avaliação de projetos de engenharia. As principais limitações da metodologia clássica estão

relacionadas ao fato desta não considerar as variáveis de flexibilidade operacionais, regionais, ambientais, governamentais, de mercado e entre outros.

Assim, com intuito de mitigar os riscos relacionados a limitação supracitada, em complemento ao estudo de viabilidade tradicional foi realizada a Análise do Custo/Benefício da URE de RSU.

Segundo Henriques (2004), o Índice Custo-Benefício serve como base para o cálculo do custo da energia gerada, sendo elaborada por intermédio da metodologia do custo nivelado da energia. O Índice Custo/Benefício ($I_{C/B}$) é dado pela Equação 12.

$$I_{C/B} = Ci + Com + Cti + Cc \quad (12)$$

Onde:

Ci – Custo anual do investimento (R\$/MWh);

Com – Custo anual de operação e manutenção (R\$/MWh);

Cti – Custo anual do investimento em transmissão (R\$/MWh);

Cc – Custo anual do combustível (R\$/MWh).

O Custo Anual do Investimento (Ci) é dado pela Equação 13.

$$Ci = \frac{Iu.Fru}{Eg.8760} \quad (13)$$

Onde:

Iu – Custo total do investimento da usina (R\$);

Fru – Fator de recuperação de capital durante a vida útil da usina (R\$/MWh);

Eg – Energia garantida da usina (MW/ano);

8.760 – Quantidade de horas do ano.

O Fator de Recuperação de Capital (Fru) é dado pela Equação 14.

$$Fru = \frac{i.(1+i)^v}{(1+i)^v - 1} \quad (14)$$

Onde:

i – Taxa anual de desconto;

v – Vida útil (anos).

O Custo anual de Operação e Manutenção (Com) é dado pela Equação 15.

$$Com = \frac{Omu.Pot}{Eg.8760} \quad (15)$$

Onde:

Omu – Custo anual de operação e manutenção na usina (R\$/MW/ano);

Pot – Potência da usina (MW);

8.760 – Quantidade de horas do ano.

O Custo anual de Investimento em Transmissão (*Cti*) é dado pela Equação 16.

$$C_{ti} = \frac{I_t \cdot F_{rt}}{E_g \cdot 8760} \quad (16)$$

Onde:

I_t – Investimento em transmissão (R\$);

F_{rt} – Fator de recuperação de capital durante a vida útil da transmissão;

8.760 – Quantidade de horas do ano.

O Custo anual de Combustível (*Cc*) é dado pela Equação 17.

$$C_c = C_{ut} \cdot R_{end} \quad (17)$$

Onde:

C_{ut} – Custo unitário do combustível (R\$/t);

R_{end} – Consumo específico médio da usina (R\$/t);

4. RESULTADOS

Este capítulo descreve os resultados obtidos durante o desenvolvimento dessa pesquisa com detalhamento do município de Campo Grande/MS, as características dos resíduos sólidos urbanos, assim como a análise dos resíduos sólidos, caracterização da rota tecnológica, caracterização da unidade de recuperação energética, a análise de viabilidade técnica e econômica do projeto.

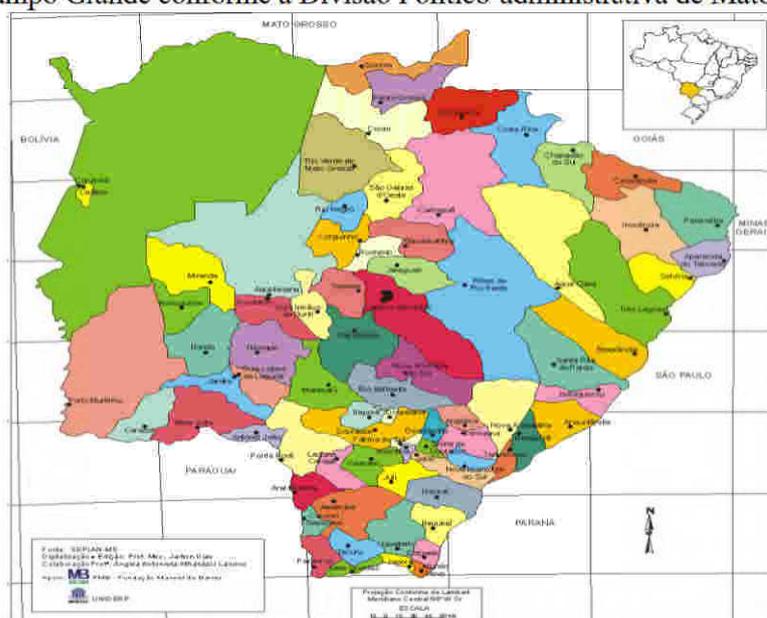
4.1. Caracterização do Município

Este tópico descreve a caracterização do município de Campo Grande/MS, desta forma serão descritos os aspectos físicos, ambientais e socioeconômicos do respectivo município.

4.1.1. Aspectos Físicos

O município de Campo Grande, capital do Estado de Mato Grosso do Sul, está situado geograficamente na região Central do Estado, determinada pelas coordenadas 20° 28' 13,40737" S e 54° 37' 25,87099". A cidade possui 8.092,95 km² de área (2,26% do total do Estado), com altitude variando entre 500 e 675 metros do nível do mar (CAMPO GRANDE, 2019). A Figura 11 apresenta a localização do município de Campo Grande/MS conforme divisão político-administrativa do Estado de Mato Grosso do Sul.

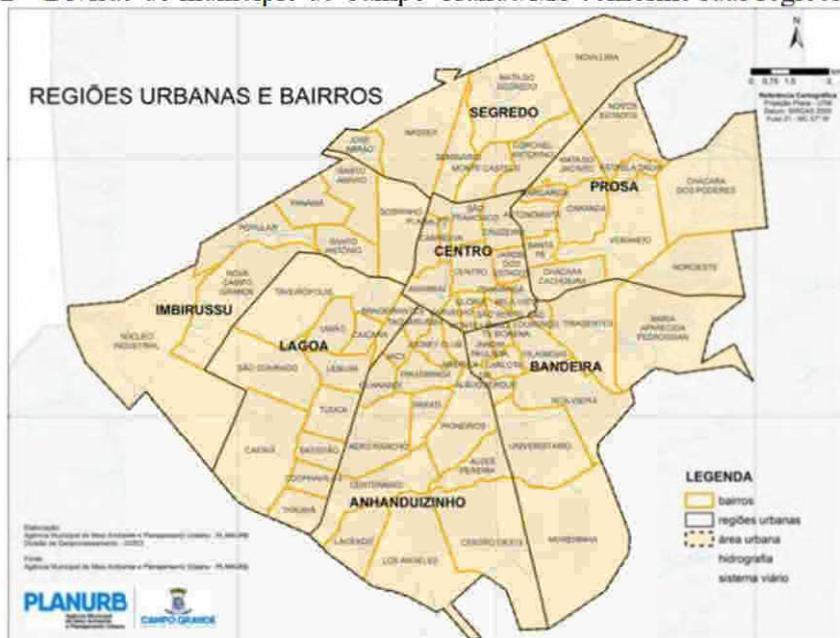
Figura 11 - Campo Grande conforme a Divisão Político-administrativa de Mato Grosso do Sul.



Fonte: CAMPO GRANDE (2017, 2019)

A cidade possui dois distritos (Anhanduá e Rochedinho) e três assentamentos rurais (PA Conquista, PA Estrela Campo Grande e PA Três Corações). Sendo dividida também em sete regiões, Anhanduizinho, Bandeira, Centro, Imbirussu, Lagoa, Prosa e Segredo, alto composta por 74 bairros (CAMPO GRANDE, 2019). A Figura 12 apresenta as regiões urbanas do município com seus respectivos bairros.

Figura 12 – Divisão do município de Campo Grande/MS conforme suas regiões e bairros.



Fonte: CAMPO GRANDE (2017, 2019)

4.1.2. Aspectos Ambientais

Campo Grande está situada na zona neotropical, em que predomina o bioma Cerrado (savana), com fisionomia de cerrado, cerradão, campos limpos, campos sujos e florestas aluviais. A vegetação encontra-se intensamente modificada devido atividades antrópicas, para desenvolvimento da pecuária e agricultura de larga escala (CAMPO GRANDE, 2019).

O município possui seis unidades de conservação ambiental (áreas protegidas), sendo três delas decretadas pelo poder público municipal. A seguir, APA Guariroba (Decreto nº 7.183, de 21 de setembro de 1995), APA Lajeado (Decreto nº 8.265, de 27 de julho de 2001 e Decreto nº 9.554, de 7 de março de 2006), APA Ceroula (Decreto nº 8.264, de 27 de julho de 2001 e Decreto nº 9984, de 14 de junho de 2007), Parque Estadual Matas do Segredo (Lei nº 995/2000 e Decreto nº 4340, de 22 de agosto de 2002), Parque Estadual do Prosa (Decreto Estadual nº 10.783, de 21 de maio de 2002) e a Reserva Particular de Patrimônio Natural - UFMS (CECA/MS nº 002, de 12 de fevereiro de 2003) (CAMPO GRANDE, 2019).

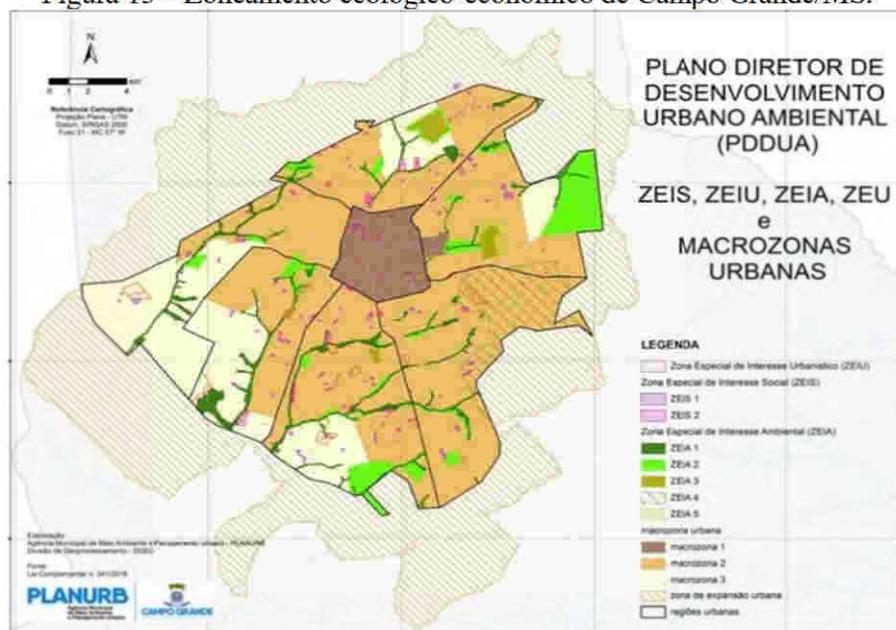
Conforme a classificação de Koppen, Campo Grande está situada na zona climática de transição entre o subtipo Cfa (mesotérmico úmido, sem ou com pequena estiagem) e o Aw (tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno). Ou seja, com temperatura anual média acima de 18° C e precipitação média anual entre 1.400 a 1.500 mm (IBGE, 2002; CAMPO GRANDE, 2019).

A cidade de Campo Grande/MS está situada entre a Bacia Hidrográfica do Rio Paraguai e a do Rio Paraná e possui cerca de trinta e três cursos d'água, sendo o Rio Anhanduí considerado o principal corpo d'água do município (IBGE, 2002).

A cidade possui três fontes de águas subterrâneas provenientes de três formações geológicas distintas, arenitos do grupo Bauru (mais superficial), rochas da formação Serra Geral (zonas de faturamento) e rochas de formação Botucatu (Aquífero Guarani - mais profundas) (CAMPO GRANDE, 2019).

Com relação ao Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (Art. 9º, inciso II, da Lei 6.938/1981 regulamentado pelo Decreto nº 4297/2002), cujo objetivo é ordenar as decisões dos agentes públicos e privados relativo a atividades, programas, planos e projetos que utilizem recursos naturais garantindo a manutenção dos serviços ambientais e capital dos ecossistemas. Campo Grande foi dividida em cinco zonas, de acordo com as necessidades de proteção, conservação e recuperação dos recursos naturais (CAMPO GRANDE, 2019). A Figura 13 apresenta o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) de Campo Grande/MS.

Figura 13 – Zoneamento ecológico-econômico de Campo Grande/MS.



Fonte: CAMPO GRANDE (2017, 2019)

4.1.3. Aspectos Socioeconômicos

Em 2019, a população estimada de Campo Grande/MS era de 895.982 pessoas. O município apresenta taxa média geométrica de crescimento de 1,72% no período de 2000 a 2010, ou seja, aumento de cerca de 12.318 pessoas/ano (IBGE, 2019; CAMPO GRANE, 2019).

No ano de 2010, a população da cidade representava cerca de 32,13% da população do Estado, a população urbana do município representava 98,66% de sua população total e a densidade populacional era de 97,22 hab/km² (IBGE, 2010, 2019; CAMPO GRANE, 2019). A Tabela 4 apresenta a evolução da população e a taxa de crescimento do município de 1991 a 2017.

Tabela 4 - Incremento da População de Campo Grande (2000 a 2019).

População de Campo Grande/MS (2000 a 2019)										
Ano	2000 ²	2001 ¹	2002 ¹	2003 ¹	2004 ¹	2005 ¹	2006 ¹	2007 ³	2008 ¹	2009 ¹
População	663.621	679.281	692.549	705.975	734.164	749.768	765.247	724.524	747.189	755.107
Taxa de Crescimento	2,36%	1,95%	1,94%	3,99%	2,13%	2,06%	-5,32%	3,13%	1,06%	4,20%
Ano	2010 ²	2011 ¹	2012 ¹	2013 ¹	2014 ¹	2015 ¹	2016 ¹	2017 ¹	2018 ¹	2019 ¹
População	786.797	796.252	805.397	832.352	843.120	853.622	863.982	874.210	885.711	895.982
Taxa de Crescimento	1,20%	1,15%	3,35%	1,29%	1,25%	1,21%	1,18%	1,32%	1,16%	-

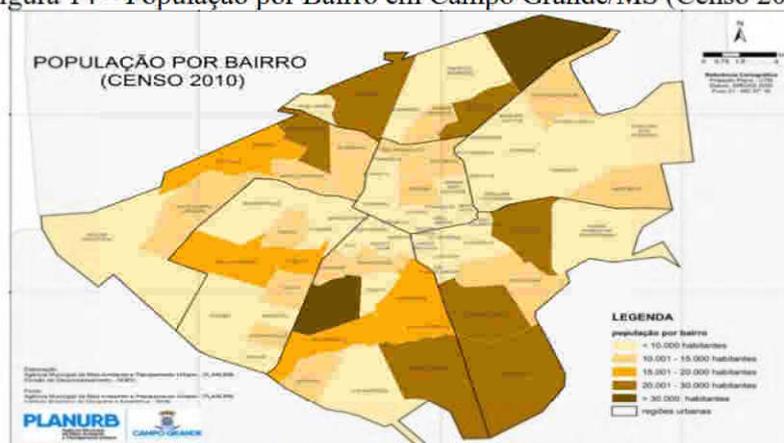
Nota:

1 - Estimativa da População; 2 - Censo Demográfico; 3 - Contagem da População;

Fonte: IBGE (2018) *apud* CAMPO GRANDE (2019) – Adaptado pelo autor

Conforme supracitado, a cidade de Campo Grande é dividida em 7 macrorregiões urbanas, e como consequência sua população se dividi entre estas regiões. Segundo levantamento do IBGE, em 2010, a região do Anhanduizinho contava com 185.558 habitantes; a região Bandeira detinha 113.118 moradores, a região Centro possuía 71.037 residentes, a região do Imbirussu contava 98.752 habitantes, a região Lagoa possuía 114.447 residentes, a região do Prosa detinha 82.328 moradores e a região do Segredo contabilizava 108.962 habitantes (PLANURB, 2019). A Figura 14 apresenta a população por bairro conforme o censo demográfico de 2010.

Figura 14 – População por Bairro em Campo Grande/MS (Censo 2010)



Fonte: CAMPO GRANDE (2017, 2019)

A rede de comunicação de Campo Grande, apresenta diversas emissoras de rádio e televisão, jornais, revistas e sites de notícias. No quesito educação, a cidade conta com ensino que contempla do nível fundamental ao superior, através de diversas escolas particulares e públicas de ensino básico, ensino técnico e profissional, assim como com várias faculdades e universidades (CAMPO GRANDE, 2019).

Conforme levantamento do censo 2010, Campo Grande possui taxa de alfabetização de 94,99%, sendo 95,05% na área urbana, 90,51% no Distrito de Anhanduí, 90,03% no Distrito de Rochedinho e 91,33% nas demais áreas rurais (IBGE, 2010 *apud* CAMPO GRANDE, 2019).

Campo Grande/MS conta com amplo acesso aos principais serviços de apoio empresarial, por intermédio dos serviços do Serviço Social da Indústria (SESI), Serviço de Aprendizagem Industrial (SENAI), Instituto Euvaldo Lodi (IEL), Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (SENAC), Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte (SENAT), Serviço Social do Comércio (SESC), Serviços Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR) e Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE). O turismo de negócios é predominante, haja vista que a cidade é palco de diversos Congressos, Simpósios, Encontros e Feiras (CAMPO GRANDE, 2017, 2019).

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) é utilizado para quantificar a situação de vida das pessoas nos municípios, sendo que para esta análise são utilizados os dados de educação, longevidade e renda. Em 2010, Campo Grande possuía o IDH-M de 0,784, dado que posiciona a cidade na faixa de desenvolvimento humano alto (BRASIL, 2013). A Tabela 5 apresenta a evolução do IDH-M de Campo Grande/MS de 1991 a 2010.

Tabela 5 - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal de Campo Grande/MS.

IDHM e componentes	1991	2000	2010
IDHM Educação	0,354	0,548	0,724
% de 18 anos ou mais com fundamental completo	41,03	51,42	66,69
% de 5 a 6 anos na escola	35,79	65,15	95,14
% de 11 a 13 anos nos anos finais do fundamental REGULAR SERIADO ou com fundamental completo	52,51	73,56	91,37
% de 15 a 17 anos com fundamental completo	26,05	49,2	65,13
% de 18 a 20 anos com médio completo	17,06	38,38	50,55
IDHM Longevidade	0,717	0,757	0,844
Esperança de vida ao nascer	68,04	70,43	75,62
IDHM Renda	0,703	0,736	0,79
Renda per capita	633,42	782,39	1.089,37

Fonte: PNUD, Ipea e FJP, 2013 – Adaptado pelo autor

A cidade de Campo Grande é uma cidade que fornece inúmeras oportunidades de negócios, com comércio movimentado e infraestrutura extensa, a cidade é o centro econômico do Estado (CAMPO GRANDE, 2019).

O município atualmente conta 4 polos empresariais, Polo Empresarial Miguel Letteriello (Polo Empresarial Norte), Polo Empresarial Conselheiro Nelson Beneditto Netto (Polo Empresarial Oeste), Polo Empresarial Paulo Coelho Machado, Polo Empresarial Sul (em construção) e 1 núcleo industrial (Núcleo Industrial Indubrasil) (SEDESC, 2019; CAMPO GRANDE, 2019).

Com intuito de apoiar temporariamente novos empreendimentos, através do fornecimento de infraestrutura, apoio técnico, administrativo e serviços, Campo Grande conta com quatro incubadoras municipais. A Figura 15 apresenta o mapa com a localização dos polos e distrito industriais, assim como das incubadoras municipais.

Figura 15 – Polos Empresariais, Incubadoras Municipais e Terminal de Cargas.



Fonte: CAMPO GRANDE (2017, 2019)

O município conta com um terminal de cargas, denominado Terminal Intermodal de Cargas, com o objetivo de promover a integração do transporte aéreo, ferroviário e rodoviário de cargas (CAMPO GRANDE, 2019). A Figura 16 apresenta a localização do Terminal Intermodal de Cargas de Campo Grande/MS.

Figura 16 – Localização do Terminal Intermodal de Cargas de Campo Grande/MS



Fonte: CAMPO GRANDE (2019)

Com relação ao setor econômico, no setor primário, o Censo Agropecuário realizado em 2006 identificou 1.633 estabelecimentos no município, em 2017 o número subiu para 1.845 estabelecimentos. Cujas atividades são concentradas na pecuária leiteira, criação de rebanhos e produção agrícola (cultivo de banana, laranja, limão, mamão, maracujá, tangerina e uva) (CAMPO GRANDE, 2019).

Conforme SEFAZ (2019), em 2018 o setor secundário de Campo Grande (MS) era composto por 2.278 indústrias (38% de Mato Grosso do Sul) que empregavam cerca de 35.522 funcionários (29% do Estado). No mesmo período, o setor terciário (Comércio e Serviços) de Campo Grande, abrigava 17.322 estabelecimentos comerciais (36,22% de participação comparado com Mato Grosso do Sul) e 4.019 estabelecimentos de serviços (CAMPO GRANDE, 2019).

Em 2018 Campo Grande (MS) teve R\$ 3.360.218.520,00 de arrecadação, R\$ 3.473.218.550,00 de despesas (CAMPO GRANDE, 2019). A Tabela 6 e a Tabela 7 apresentam as receitas e despesas do município de 2009 a 2018

Tabela 6 - Evolução das Receitas de Campo Grande/MS (2009 a 2018)

Ano	Receitas						
	Correntes	%	Capital	%	Total	Deduções	Total-Deduções
2009	1.441.689,16	93,08	107.229,34	6,92	1.548.918,50	75.086,57	1.473.831,93
2010	1.640.839,91	94,53	94.899,28	5,47	1.735.739,19	83.287,52	1.652.451,67
2011	1.997.584,85	97,00	61.762,51	3,00	2.059.347,36	99.903,70	1.959.443,66
2012	2.318.928,17	96,16	92.625,84	3,84	2.411.554,01	108.899,58	2.302.654,43
2013	2.424.990,12	98,44	38.507,09	1,56	2.463.497,21	127.710,99	2.335.786,22
2014	2.654.568,24	97,25	75.155,46	2,75	2.729.723,70	119.791,75	2.609.931,95
2015	2.761.430,87	97,41	73.528,79	2,59	2.834.959,66	118.150,00	2.716.809,66
2016	3.000.955,77	99,36	19.197,41	0,64	3.020.153,18	132.945,20	2.887.207,98
2017	3.246.546,66	98,55	47.788,19	1,45	3.294.334,85	136.187,63	3.158.147,22
2018	3.429.230,36	97,75	78.989,07	2,25	3.508.219,43	148.000,91	3.360.218,52

Fonte: CAMPO GRANDE (2019) – Adaptado pelo autor

Tabela 7 - Evolução das Despesas de Campo Grande/MS (2009 a 2018)

Ano	Despesas				
	Correntes	%	Capital	%	Total
2009	1.181.166,88	81,02	276.647,20	18,98	1.457.814,08
2010	1.360.562,39	80,96	319.909,41	19,04	1.680.471,80
2011	1.629.802,01	84,22	305.477,17	15,78	1.935.279,18
2012	1.853.274,33	78,81	498.439,76	21,19	2.351.714,09
2013	2.039.840,08	87,00	304.678,49	13,00	2.344.518,57
2014	2.431.508,16	88,63	311.878,98	11,37	2.743.387,14
2015	2.702.256,41	92,11	231.492,69	7,89	2.933.749,10
2016	2.876.215,70	96,64	100.045,61	3,36	2.976.261,31
2017	3.001.329,68	94,76	165.960,18	5,24	3.167.289,86
2018	3.246.418,45	93,47	266.800,10	6,53	3.473.218,55

Fonte: CAMPO GRANDE (2019) – Adaptado pelo autor

4.2. Resíduos Sólidos Urbanos em Campo Grande/MS

O presente tópico descreve os detalhes relativos ao RSU produzido em Campo Grande/MS, desta forma, serão descritos os aspectos legais, os tipos e a classificação, a forma de prestação, regulação e fiscalização do serviço coleta, transporte e disposição do RSU no município.

4.2.1. Aspectos Legais

Neste tópico são apresentados os princípios legislativos de âmbito Federal, Estadual e Municipal, que impõem regras e diretrizes relacionados aos RSUs. Esse arcabouço de regulamentações orientam a prestação do serviço de coleta, transporte, armazenagem e destinação final dos resíduos urbanos no município de Campo Grande (MS).

No âmbito Federal, a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, estabelece uma série de diretrizes relacionadas a limpeza urbana e manuseio dos resíduos, a seguir: define a promoção de programas de saneamento básico como competência comum entre a União, os Estados, Distrito Federal e Municípios; estabelece como competência dos Municípios a organização e execução dos serviços públicos essenciais e de interesse local, sob concessão, permissão ou prestação direta; autoriza os Estados a estabelecer regiões de organização, planejamento e execução de funções públicas de interesse comum; exige que município cuja população ultrapasse 20.000 habitantes implementem um Plano Diretor; estabelece que as políticas de desenvolvimento urbano municipal, conforme regulamentação legislativa, devem promover a melhoria das atribuições sociais e assegurar o conforto da população; determina que é dever do Poder Público a conservação, preservação e defesa do meio ambiente; Confere à União, Estados, Distrito Federal e Municípios a regulamentação legislativa de consórcios e convênios públicos para cooperação e gestão associada de serviços públicos, assim como o estabelecimento e transferência, total ou parcial, de encargos, serviços, pessoal e bens relativos à continuidade do serviço transferido (BRASIL, 1988).

A Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), Lei ° 11.445 de 05 de janeiro de 2007, estabelece: que detentores das funções dos serviços públicos de saneamento básico podem delegar as atividades de organização, regulação, fiscalização e prestação a outras organizações (públicas ou não) mediante a celebração de contratos e/ou convênios conforme Art. 241 da Constituição Federal e Lei nº 11.107/2005; a necessidade da existência de plano de saneamento básico (inciso I), de estudo e comprovação de viabilidade técnica, econômica e

financeira para prestação dos serviços de forma integral e universal (inciso II), de norma para regulação do cumprimento das diretrizes da PNSB com a formalização das instituições de fiscalização e regulação (inciso III); nos casos em que mais de um prestador de serviços execute atividades interdependentes de saneamento básico, deverá haver relação contratual e uma única instituição para fiscalização e regulação; os serviços de saneamento básico possuem sustentabilidade econômico-financeira garantida, mediante remuneração pela cobrança dos serviços (salvo casos de impossibilidade) compatível com suas atividades ou procedimento de fornecimento de serviço; o controle social do serviço de saneamento básico permitirá a participação de órgãos colegiados (consultivos) (PNSB, 2010).

A Política Nacional sobre Mudança de Clima, regulamentada pela Lei nº 12.187 de 2009, estabelece que os Estados e Municípios devem considerar, durante a aplicação de políticas públicas, processos e tecnologias que propiciem a economia de energia, a redução do uso de recursos naturais e a emissão de gases do efeito estufa (em especial o metano oriundo do manejo dos resíduos sólidos) (PNMC, 2009).

Em 02 de agosto de 2010, por intermédio da Lei nº 12.305, foi estabelecida a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) cujo objetivo é reduzir o impacto dos resíduos no meio ambiente. A PNRS (2010) estabelece diversos requisitos, exigências e diretrizes relativo ao processo de gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos (industrial, comercial, residencial, de saneamento público, da construção civil, da saúde, agropecuário e perigosos “exceção aos radioativos”) no país.

Na prática, a PNRS determina que os resíduos devem ser adequadamente processados durante o seu ciclo de vida (antes da destinação final), respeitando a ordem de: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos. A PNRS estabelece a responsabilidade compartilhada, a logística reversa, a coleta seletiva, o fim dos lixões e a colaboração financeira e técnica entre setores públicos e privados. Assim como instrumentos de monitoramento e fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária para assegurar que seus dispositivos sejam cumpridos (PNRS, 2010).

Faz-se necessário salientar que o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão colegiado (com representantes do governo federal, estadual, municipal e sociedade civil), responsável pela implementação de medidas relacionadas ao Meio Ambiente, estabelece diversas resoluções direcionadas aos serviços de administração de resíduos sólidos e limpeza urbana (PNRS, 2010).

Na esfera Estadual, as instituições responsáveis por estabelecer diretrizes e instrumentos legais relacionados a proteção do Meio Ambiente são a Assembleia Legislativa de Mato Grosso do Sul e o Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL). As principais regulamentações são: a Lei nº 90/1980 que estabelece normas de proteção ambiental; a Lei nº 1.293/1992 que implementa o Código Sanitário do Estado de Mato Grosso do Sul; a Lei nº 2.080/2000 que estabelece princípios e critérios para a gestão dos resíduos sólidos; o Decreto nº 9.888/2000 que regulamenta a coleta seletiva de materiais recicláveis nos órgãos estaduais; a Lei nº 2.222/2001 que estabelece normas para a destinação de embalagens plásticas; a Lei nº 2.233/2001 que define o destino de pilhas e baterias de celulares; a Lei nº 2.263/2007 que descreve a prestação, regulação, fiscalização e controle dos serviços de saneamento; a Lei nº 2.661/2003 que regulamenta a Política Estadual de Reciclagem de Materiais; a Lei nº 2.971/2005 que implementa o Programa Estadual de Educação Ambiental; a Lei nº 3.367/2007 e 4.727/2015 que determina a proibição da instalação e funcionamento de incineradores de lixo (com exceção de empreendimentos destinados a geração de energia); a Lei nº 3.597/2008 que estabelece o Programa Estadual de Incentivo ao Uso de Sacolas Retornáveis; a Lei nº 3.970/2010 que descreve a reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico; a Lei nº 4.219/2012 que regulamenta o ICMS Ecológico; a Lei nº 4.303/2012 que implementa o Programa de Parceria Público-Privada de Mato Grosso do Sul (PROPPP-MS); a Lei nº 4.474/2014 que obriga as drogarias a manterem recipientes para coleta de medicamentos; a Lei nº 4.555/2014 que implementa a Política Estadual de Mudanças Climáticas em Mato Grosso do Sul; as Resolução da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico (SEMADE) nº 007/2015 que descreve o procedimento de distribuição do ICMS Ecológico e nº 009/2015 que estabelece normas e procedimentos para o licenciamento ambiental (MATO GROSSO DO SUL, 1980; 1992; 2000; 2001; 2003; 2005; 2007; 2008; 2010; 2012; 2014; 2015).

No âmbito municipal, Campo Grande/MS também possui legislações relativo ao processo de gestão dos resíduos sólidos, entre elas destacam-se: a Lei nº 3.042/1994 que trata da coleta seletiva, reciclagem e destino final dos resíduos; a Lei nº 3.785/2000 que tratada da instalação de recipientes para coleta de recicláveis nas escolas municipais; a Lei nº 4.045/2003 que dispõem sobre a utilização de asfalto ecológico no município; a Lei nº 4.050/2003 que trata da concessão do serviço de coleta e destinação de resíduos; a Lei Complementar nº 94/2006 que estabelece o Plano Diretor para a política de desenvolvimento e expansão urbana; a Lei nº 4.484/2007 que determina a compensação das emissões e gestão dos resíduos sólidos gerados em eventos realizados em áreas públicas; a Lei Complementar nº 145/2009 que trata do

recolhimento e destinação de pneus inservíveis; a Lei Complementar nº 152/2009 que estabelece os coletores tipo caçamba metálica basculantes; a Lei Complementar nº 160/2010 que trata dos Programa Ecoponto; a Lei Complementar nº 168/2010 que estabelece os pontos de entrega voluntária de medicamentos vencidos; a Lei nº 4.818/2010 que discute a incorporação de borracha de pneus inservíveis em asfalto e concreto; a Lei nº 4.864/2010 e o Decreto nº 13.192/2017 que estabelece a gestão dos resíduos oriundos da construção civil; a Lei nº 4.952/2011 que trata da Política Municipal de Resíduos Sólidos (PMRS); a Lei Complementar nº 174/2011 que institui o Programa Municipal de Coleta e Reciclagem de Óleo Vegetal; a Decreto nº 9.722/2006 que estabelece o Comitê Municipal de Monitoramento do Programa Reciclar de Coleta Seletiva; o Decreto nº 10.483/2008 que institui o Programa de Coleta Seletiva Solidária dos Resíduos Recicláveis; o Decreto nº 11.803/2012 que trata do Fórum Municipal “Lixo e Cidadania” de Campo Grande; a Lei Complementar nº 209/2012 que estabelece o Código Municipal de Resíduos Sólidos; a Lei nº 5.261/2014 que trata do Programa Câmbio Verde; a Lei nº 5.294/2014 que tratada da Bolsa Reciclagem; a Lei Complementar nº 232/2014 que dispõem sobre as atividades de carroceiros em vias públicas municipais; a Lei nº 5.512/2015 que implanta a coleta seletiva de lixo têxtil (CAMPO GRANDE, 1994; 2000; 2003; 2006; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2014; 2015).

4.2.2. Formas de Prestação, Regulação e Fiscalização do Serviço

Considerando as disposições supracitadas no tópico “Aspectos Legais”, verifica-se que a responsabilidade pela prestação dos serviços de gestão dos resíduos sólidos e limpeza urbana do município é da Prefeitura Municipal de Campo Grande.

No entanto, de acordo com a Lei Federal nº 11.079/2004 (Lei das Parcerias Público-Privadas) e a Lei Municipal nº 4.050/2003 (Concessão para Exploração dos Serviços de Limpeza Urbana e Gestão de Resíduos), o município possui um contrato de concessão administrativa junto a CG Solurb Soluções Ambientais SPE LTDA (Contrato PPP nº 332/2012) para a prestação dos serviços de gestão dos resíduos e limpeza urbana na modalidade de concessão administrativa (BRASIL, 2004; CAMPO GRANDE, 2003; 2012).

De forma resumida os serviços objeto do contrato PPP nº 332/2012 (CAMPO GRANDE, 2012) são:

- coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos domiciliares e comerciais da área urbana do Município de Campo Grande – MS e distritos de Anhanduí e Rochedinho;
- coleta e transporte de resíduos dos serviços de saúde (grandes e pequenos geradores), oriundos dos estabelecimentos de saúde que tem como mantenedor o município de Campo Grande;
- coleta, transporte e destinação final adequada de resíduos inertes, classe II B (entulhos), oriundo dos estabelecimentos públicos municipais;
- implantação, Operação e Manutenção de Crematório de animais de pequeno porte;
- coleta e transporte de materiais recicláveis (Coleta Seletiva);
- varrição de ruas, vias e logradouros públicos com destinação e disposição final dos resíduos;
- pintura de meio fio;
- limpeza, lavagem e desinfecção de vias após as feiras livres;
- capina, roçada e raspagem manual e mecanizada de passeios, guias, sarjetas vias e logradouros públicos;
- limpeza manual de bocas de lobo;
- aparelhamento e coordenação de unidade de triagem de resíduos recicláveis;
- execução das obras de recuperação ambiental e encerramento do aterro sanitário Dom Antônio Barbosa I, assim como o seu monitoramento;
- execução das obras de conclusão da construção do aterro sanitário Dom Antônio Barbosa II, bem como sua operação e manutenção, contemplando a instalação do sistema de queima de gás;
- implantação, operação e manutenção do novo aterro sanitário a ser denominado de “Ereguaçu”, numa área mínima de 50 (cinquenta) hectares que permita o funcionamento para recepção de resíduos sólidos domiciliares urbanos, durante o período de vigência da concessão;
- implantação e operação de unidade de tratamento de resíduos sólidos oriundos dos estabelecimentos de serviços de saúde;
- desenvolvimento e implementação de Programa de Educação Ambiental;
- implantação e Gerenciamento de Ecopontos;

Com relação a regulação da prestação de serviços, em Campo Grande a instituição responsável pela regulação dos serviços, com autonomia administrativa e técnica, é a Agência de Regulação dos Serviços Públicos Delegados (AGEREG). De forma prática, a AGEREG tem o objetivo de garantir a universalização do acesso, conformidade, segurança, qualidade, modernidade tecnológica e sustentabilidade econômica na oferta dos serviços (CAMPO GRANDE, 2017).

A fiscalização dos serviços de limpeza urbana e gestão dos resíduos sólidos do município de Campo Grande é de responsabilidade da Secretaria Municipal de Infraestrutura, Transportes e Habitação (SEINTRHA), conforme Portaria AGEREG nº 001/2015 (CAMPO GRANDE, 2017).

4.2.3. Resíduos Sólidos Domiciliares

4.2.3.1. Coleta Regular

Conforme supracitado, segundo a ABNT (2004), NBR 10.004/2004, os resíduos sólidos domiciliares são aqueles gerados em residências e que apresentam características de resíduos classe II-A (resíduos não inertes e não perigosos), cuja composição básica é formada por cascas, folhas, madeiras, metais, papéis, plásticos, restos de alimentos, resíduos sanitários e etc., desta forma podendo ser coletado pela coleta convencional regular.

A coleta regular, também denominada de coleta indiferenciada, é caracterizada pelo recolhimento e transporte dos resíduos do local de geração ao local de disposição final, sem nenhuma forma de segregação e executada em intervalos determinados (CAMPO GRANDE, 2017).

Devido ao fato de que boa parte dos resíduos sólidos gerados em comércios, condomínios e prestadores de serviços possuem características equiparadas aos resíduos sólidos domiciliares (Lei Municipal nº 209/2012), também são recolhidos pela coleta regular. No caso dos estabelecimentos que produzem resíduos perigosos, com volume e/ou com características distintas, a destinação final é de responsabilidade do próprio gerador (CAMPO GRANDE, 2012).

Conforme Campo Grande (2017) a coleta regular, também é responsável pelo recolhimento dos resíduos com características similares aos RSDs, oriundos de entidades, instituições e órgãos públicos, assim como os resíduos de serviços de saúde da rede pública municipal (separados de resíduos especiais na fonte).

O serviço de coleta, transporte e destinação final dos resíduos sólidos domiciliares acontece de segunda à sábado. A cidade está dividida em 5 macrorregiões para fins de estabelecimento de rotas e periodicidade do serviço de coleta. A região central do município é atendida diariamente no período noturno, as demais regiões em conjunto com os distritos (Anhanduí e Rochedinho) três vezes na semana, a zona rural e a colônia de Aguão uma vez na semana (CAMPO GRANDE, 2017).

Atualmente, os resíduos sólidos domiciliares coletados são encaminhados para acondicionamento (destinação final), em células específicas, no Aterro Sanitário Dom Antônio Barbosa II. A média mensal de coleta de resíduos sólidos é de 22.146 t/mês, ou seja, cerca de 738,2 t/dia, sendo o controle realizado através da pesagem dos caminhões na entrada e saída do aterro sanitário (CAMPO GRANDE, 2017).

4.2.3.2. Coleta Seletiva

De acordo com Campo Grande (2017) O município de Campo Grande/MS possui serviço público de coleta seletiva desde o ano de 2012, instituído através do Código de Resíduos do Município de Campo Grande (Lei Complementar nº 209/2012). O serviço de coleta seletiva de RSD Recicláveis Secos é realizado pela CG Solurb Soluções Ambientais na modalidade de concessão administrativa e atende 54 bairros sob modalidade de coleta porta a porta e 108 pontos de entrega voluntária (CAMPO GRANDE, 2012).

A coleta seletiva é caracterizada pela remoção dos resíduos previamente separados na unidade geradora. Sendo caracterizado por resíduos secos composto predominantemente por papeis, plásticos, vidros e metais (CAMPO GRANDE, 2017).

Todos o RSD Reciclável Seco coletado é destinado a Usina de Triagem de Campo Grande (UTR Campo Grande), onde é realizado o pré-beneficiamento por meio da pesagem, recepção, segregação, compactação, enfardamento e posterior comercialização dos recicláveis recuperados. Os rejeitos da segregação são encaminhados para destinação final no Aterro Municipal Dom Antônio Barbosa II (CAMPO GRANDE, 2017; 2019).

Conforme dados da CG Solurb Soluções Ambientais, em outubro de 2016, o volume de material coletado seletivamente era de aproximadamente 24,14 t/mês, que corresponde a cerca de 0,27% do total gerado pela população urbana do município (CAMPO GRANDE, 2017).

A UTR Campo Grande está localizada em frente ao Aterro Sanitário Dom Antônio Barbosa II, no Rodoanel Viário próximo à Rodovia BR-060 (saída para Sidrolândia). A UTR

foi inaugurada em 14 de agosto de 2015, conta com 4.500 m² de área construída em terreno com 57.500 m² de área total (CAMPO GRANDE, 2017; 2019).

A UTR Campo Grande é administrada pela CG Solurb Soluções Ambientais conforme diretrizes estabelecidas no contrato PPP nº 332/2012. A unidade é responsável pela triagem e pré-beneficiamento dos resíduos recicláveis secos oriundos da coleta seletiva cujas atividades são realizadas por cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis acomodados na UTR (Termo de Permissão de Uso nº 18) e gerenciados pela CG Solurb (CAMPO GRANDE, 2012; 2017).

4.2.4. Resíduos Sólidos Comerciais

O Código de Resíduos do município de Campo Grande define como grandes geradores de resíduos todos os estabelecimentos comerciais, industriais e prestadores de serviço que produzem diariamente resíduos sólidos Classe II-A em quantidade superior a 200 l ou 50 kg. Assim como estabelece que os estabelecimentos que produzem resíduos sólidos especiais e/ou perigosos devem separar e acondicionar separadamente estes resíduos (CAMPO GRANDE, 2012).

Os grandes geradores de resíduos sólidos devem contratar operadores privados para promover a coleta e transporte dos resíduos sólidos gerados. Alguns grandes geradores possuem acordos com comercializadores e/ou associações de catadores de materiais recicláveis que efetuam a coleta do material segregado em períodos pré-determinados. No entanto, todos os resíduos sólidos comerciais com características similares aos resíduos domiciliares, que não são comercializados e/ou recuperados, são destinados ao Aterro Sanitário Municipal para destinação final (CAMPO GRANDE, 2017).

Os resíduos sólidos comerciais possuem características similares aos resíduos sólidos domésticos, no entanto com a predominância de embalagens plásticas, papéis, vidros, metais, folhas, cascas, restos de alimentos e entre outros (ABNT, 2004).

São exemplos de grandes geradores de resíduos sólidos comerciais, os restaurantes, pizzarias, lanchonetes, shoppings, varejistas, hotéis, SPAs, pousadas, lavanderias e tinturarias que produzem diariamente quantidades superiores à 200 l ou 50 kg (CAMPO GRANDE, 2017; 2019).

4.2.5. Resíduos da Construção Civil

Resíduos da Construção Civil são definidos, pela Resolução Conama nº 307/2002, como resíduos oriundos de construções, reformas, demolições e reparos de obras civis, assim como os de preparação e escavação de terrenos (CONAMA, 2002). São exemplos de resíduos da construção civil, tijolos, pisos, azulejos, telhas, concreto, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras, forros, gesso, vidros, plástico, tubulações, fiação elétrica, entulhos de obras e outros (CAMPO GRANDE, 2017).

No município de Campo Grande/MS a Lei Municipal nº 4.864/2010 estabelece o Plano Integrado de Resíduos da Construção Civil (PGIRCC) que dispõe sobre a gestão dos resíduos oriundos desta atividade. A PGIRCC descreve as responsabilidades pela produção dos RCC e compromete os geradores a destinarem seus respectivos resíduos de forma ambientalmente adequada (CAMPO GRANDE, 2010).

Conforme Campo Grande (2017) o município de Campo Grande/MS possui poucas ações efetivas relacionadas ao gerenciamento de resíduos de construção civil. O município não possui programa para a coleta de RCC de pequenos geradores (até 1 m³), somente ações corretivas para mitigação dos problemas detectados (descarte em pontos de disposição irregular) (CAMPO GRANDE, 2013).

A coleta de resíduos da construção civil na fonte geradora é realizada principalmente por empresas privadas, caçambeiros e que cobram do usuário para a prestação do serviço. Atualmente a disposição final dos RCC de Campo Grande é realizada em um Aterro Privado localizado na saída para o município de Rochedo (próximo ao Conjunto Habitacional José Abrão) (CAMPO GRANDE, 2017).

Quanto ao gerenciamento dos resíduos oriundos das atividades de construção civil, pode mencionar a presença de algumas empresas que promovem o aproveitamento destes resíduos seja por meio da manufatura de outros produtos ou da reutilização. Sendo mais constante a fabricação de blocos e telhas de concreto através de resíduos de blocos de concreto, cerâmicos e argamassa (CAMPO GRANDE, 2017).

4.2.6. Resíduos da Limpeza Urbana

Os Resíduos de Limpeza Urbana (RLU) são derivados das atividades de varrição, capinagem, roçagem e raspagem de áreas verdes, parques, praças, calçadas e logradouros públicos, assim como os resíduos coletados em feiras livres (ABRELPE, 2012).

Em Campo Grande/MS a gestão desse tipo de resíduos é executada pela concessionária de coleta de resíduos do município CG Solurb Soluções Ambientais SPE LITDA e pela Prefeitura Municipal através da SEINTRHA (CAMPO GRANDE, 2017).

Os RLUs são caracterizados pela presença predominante de resíduos orgânicos (folhas, cascas, galhos, pedaços de madeira, restos de alimentos e hortifrútiis), recicláveis (plásticos de embalagens, papelões e papéis) e inertes (areia e terra). Mesmo possuindo potencial de reaproveitamento todo o material coletado no município é transportado para destinação final no Aterro Sanitário Dom Antônio Barbosa II (CAMPO GRANDE, 2017).

4.2.7. Resíduos com Logística Reversa

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA) a Logística Reversa consiste num instrumento de desenvolvimento econômico e social orientado por um grupo de ações, procedimentos e formas orientadas para viabilizar a coleta e devolução dos resíduos sólidos ao setor produtor para reaproveitamento ou destinação final ambientalmente correta (CAMPO GRANDE, 2017; BRASIL, 2019).

Os resíduos abrangidos pela logística reversa são compostos por resíduos e embalagens de agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes (resíduos e embalagens), lâmpadas (fluorescentes, de vapor de sódio, mercúrio e metálico), produtos eletrônicos e seus componentes. Devido ao fato deste tipo de resíduo não possibilitar a sua utilização para produção de energia através da incineração, não será tratado em detalhes neste estudo (CAMPO GRANDE, 2017).

4.2.8. Resíduos de Serviços de Saúde

Segundo Campo Grande (2017) todo material resultante das atividades de assistência médica, farmacêutica, odontológica, laboratorial, de instituições de ensino e pesquisa médica relacionado à população humana e veterinária são considerados Resíduos de Serviços de Saúde (RSS).

Devido ao potencial risco a saúde pública os RSS necessitam de processos diferenciados para o manejo, sendo que alguns necessitam de tratamento prévio antes da disposição final. As diretrizes necessárias para a gestão de RSS estão contidas na Resolução da Diretoria Colegiada

nº 306/2004 da ANVISA e nº 358/2005 do CONAMA (BRASIL, 2004; 2005; CAMPO GRANDE, 2017).

Para estar em regular junto a SEMADUR e SESAU todos os estabelecimentos de saúde de Campo Grande/MS devem implantar um Sistema de Gestão de Resíduos Sólidos em conformidade com seu o Plano de Gestão de Resíduos Sólidos de Serviço de Saúde (PGRSS). O PGRSS define as diretrizes para a gestão dos respectivos resíduos e descrevem todas as etapas da gestão, ou seja, desde a segregação, acondicionamento, transporte interno, armazenamento, coleta e transporte externo, tratamento e disposição final (CAMPO GRANDE, 2017).

Com relação a forma de prestação do serviço, os estabelecimentos públicos são atendidos pelo serviço público de coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos, CG Solurb Soluções Ambientais. Enquanto os estabelecimentos privados devem contratar empresas especializadas para o seu respectivo atendimento. Atualmente existem 4 empresas que prestam esse tipo de serviço no Município, Atitude Ambiental, Bio Acess, MS Ambiental e CG Solurb Soluções Ambientais (CAMPO GRANDE, 2017; 2019).

Devido ao fato deste tipo de resíduo não possibilitar a sua utilização como insumo para produção de energia através da incineração não será tratado em detalhes neste estudo.

4.3. Unidade de Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos

Este tópico caracteriza a unidade de recuperação energética objeto deste trabalho. Assim, analisa-se os resíduos sólidos urbanos produzidos no município, caracteriza-se a rota tecnológica e a unidade de recuperação energética proposta, finalizando com a análise de viabilidade técnica e econômica do empreendimento proposto.

4.3.1. Caracterização Física dos RSUs de Campo Grande/MS

Conforme Polleto (2008) as características físicas e químicas são consideradas os principais aspectos para a escolha, operação e otimização das unidades de tratamento, disposição e recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, haja vista que interferem na composição gravimétrica dos rejeitos e são afetadas principalmente pela localidade, nível educacional e condição socioeconômica da população.

Logo, tal caracterização é de fundamental importância, pois possibilita também o estudo do comportamento físico dos elementos que compõem os resíduos, podendo-se, portanto,

compreender melhor as suas especificidades. A Figura 17 apresenta a classificação básica dos RSUs de Campo Grande/MS conforme classe, tipo e composição gravimétrica.

Figura 17 - Classificação dos Resíduos Sólidos Domiciliares de Campo Grande/MS.



Fonte: CAMPO GRANDE (2017) – Adaptado pelo autor

Através da análise da Figura 17, verifica-se que o sistema de coleta regular faz o recolhimento de resíduos secos, úmidos e perigosos. Os resíduos perigosos são formados por pilhas, baterias, químicos e eletroeletrônicos, assim como rejeitos dos serviços de saúde, incorretamente acondicionados. Os resíduos úmidos são formados predominantemente por matéria orgânica, sanitários e outros (têxteis, borrachas e entre outros), já os resíduos secos apresentam composição formada por papel, papelão, plásticos, vidros e metais. A Tabela 8 apresenta a massa de resíduos conforme sua composição gravimétrica típica.

Tabela 8 - Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares (Base Úmida).

Classe de Resíduos	Tipo de Material	Volume (%)	Massa (t/ano)
Papel e papelão	Papelão	9,30%	28.126,83
	Papel branco	1,42%	4.294,63
	Papel colorido	0,88%	2.661,46
	Emb. multicamadas	1,00%	3.024,39
Metais	Metais ferrosos	0,62%	1.875,12
	Metais não ferrosos	0,31%	937,56
Vidros	Vidro incolor	0,57%	1.723,90
	Vidro colorido	2,01%	6.079,02
Plásticos	Plástico rígido	1,68%	5.080,98
	PET	1,23%	3.720,00
	Plástico filme	16,65%	50.356,09
	Isopor	0,40%	1.209,76
	Outros plásticos	0,92%	2.782,44
Matéria orgânica	Resíduos orgânicos	46,34%	140.150,23
Rejeitos	Sanitários	11,64%	35.203,90
	Outros	4,96%	15.000,97
Resíduos perigosos	Resíduos Perigosos	0,07%	211,71
		100,00%	302.439,00

Fonte: Campo Grande (2017) – Adaptado pelo autor

Através da análise da Tabela 8 verifica-se que a composição majoritária dos RSUs de Campo Grande/MS é formada por matéria orgânica e rejeitos, cujo volume representa 62,94% da massa total, resíduos plásticos com 20,88%; compostos de papel e papelão com 12,60%. Os restos de sucata metálica e vidros representam 3,51% e os resíduos perigosos possuem 0,07% do volume total.

Para efeito de comparação, a Tabela 9 apresenta a distribuição típica dos compostos presentes nos resíduos sólidos conforme o índice de desenvolvimento socioeconômico, onde é possível verificar através da comparação da composição gravimétrica dos RSU que Campo Grande/MS mesmo situando-se em um país em desenvolvimento apresenta resíduos urbanos com padrão similar ao de países com média renda per capita.

Tabela 9 - Distribuição típica do RSU conforme índice de desenvolvimento socioeconômico.

Componente	País de baixa renda "per capita"	País de média renda "per capita"	País de alta renda "per capita"
Restos de alimentos	40 - 85	20 - 65	6 - 30
Papel e papelão	1 - 10	8 - 30	20 - 45 e 5 - 15
Plásticos	1 - 5	2 - 6	2 - 8
Têxteis	1 - 5	2 - 10	2 - 6
Borracha e couro	1 - 5	2 - 10	0 - 2
Madeira e podas	1 - 5	1 - 10	10 - 20 e 1 - 4
Vidros	1 - 10	1 - 10	4 - 12
Metais	1 - 5	1 - 5	3 - 12
Terra, pó e cinzas	1 - 40	1 - 30	0 - 10

Fonte: Tchobanoglous *et al.* (1993)

4.3.2. Análise dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande/MS

Segundo Santos *et al.* (2008) considerando-se um mesmo espaço geográfico, os resíduos sólidos domiciliares podem assumir particularidades diferenciadas de acordo com as características de seus habitantes, exigindo que gerenciamentos específicos sejam adotados.

A determinação da massa específica aparente dos RSD recolhidos pela coleta regular é de grande importância, pois possibilitará o correto dimensionamento da frota e mão-de-obra necessária para realizar o transporte dos resíduos coletados, os dispositivos de acondicionamento temporário de resíduos (contêineres, lixeiras, etc.) e outros equipamentos e instalações (DI CHIRICO, 2013).

Assim, considerando a composição gravimétrica de cada uma das classes de resíduos domiciliares (papel, tecido, plásticos, matéria orgânica e entre outros), em conjunto com a massa específica e teor de umidade (Tchobanoglous *et al.* (1993) é possível realizar a

estratificação da massa de RSUs sem cinzas e na base seca (baixo teor de umidade). A Tabela 10 apresenta composição gravimétrica dos RSUs de Campo Grande/MS na base seca e sem cinzas.

Tabela 10 - Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares (Base Seca e Sem Cinzas).

Classe de Resíduos	Tipo de Material	Volume (%)		Massa (t/ano)	
Papel e papelão	Papelão	9,30%		26.720,49	36.102,14
	Papel branco	1,42%	12,60%	4.036,96	
	Papel colorido	0,88%		2.501,78	
	Emb. multicamadas	1,00%	2.842,93		
Metais	Metais ferrosos	0,62%	0,93%	178,14	267,20
	Metais não ferrosos	0,31%		89,07	
Vidros	Vidro incolor	0,57%	2,58%	18,96	85,83
	Vidro colorido	2,01%		66,87	
Plásticos	Plástico rígido	1,68%		4.572,88	56.834,34
	PET	1,23%		3.348,00	
	Plástico filme	16,65%	20,88%	45.320,48	
	Isopor	0,40%		1.088,78	
	Outros plásticos	0,92%		2.504,19	
Matéria orgânica	Resíduos orgânicos	46,34%	46,34%	39.942,82	39.942,82
Rejeitos	Sanitários	11,64%	16,60%	16.721,85	29.898,71
	Outros	4,96%		13.176,86	
		53,94%		163.131,04	

Fonte: Campo Grande (2017) – Adaptado pelo autor

Considerando o caso específico do processo de incineração, o poder calorífico dos resíduos sólidos é a característica mais importante. O Poder Calorífico representa a quantidade de energia liberada pelo combustível após a sua combustão total, sendo estratificado em duas componentes. A primeira componente é de Poder Calorífico Superior (PCS) que expressa a quantidade total de energia liberada pelo combustível após a sua combustão completa. A segunda componente é denominada de Poder Calorífico Inferior (PCI) e representa a energia liberada pelo combustível desprezando a energia presente no vapor d'água resultante da combustão (DI CHIRICO, 2013).

Conforme Silva (1998), através da aplicação das equações de Dulong para Combustíveis Sólidos e Mendeleyev é possível determinar o poder calorífico superior e inferior dos RSU (SILVA, 1998).

Desta forma, a partir dos resultados de composição elementar dos RSUs apresentados por Kenji Iwai (2005) e das equações de Dulong e Mendeleyev obteve-se o Conteúdo Energético (Poder Calorífico) dos RSUs de Campo Grande/MS, apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Conteúdo Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande/MS

Classe de Resíduos	Tipo de Material	Superior	Inferior	Superior	Inferior
		(kJ/kg)		(kcal/kg)	
Papel e papelão	Papelão	15.395,25	14.099,61	3.679,56	3.369,89
	Papel branco	15.473,90	14.156,30	3.698,35	3.383,44
	Papel colorido	15.473,90	14.156,30	3.698,35	3.383,44
	Emb. multicamadas	22.492,33	21.174,73	5.375,80	5.060,89
Plásticos	Plástico rígido	26.508,30	24.927,18	6.335,64	5.957,75
	PET	26.508,30	24.927,18	6.335,64	5.957,75
	Plástico filme	26.508,30	24.927,18	6.335,64	5.957,75
	Isopor	26.508,30	24.927,18	6.335,64	5.957,75
	Outros plásticos	40.622,00	38.426,00	9.708,90	9.184,04
Matéria orgânica	Resíduos orgânicos	18.719,40	15.605,96	4.474,05	3.729,92
Rejeitos	Sanitários	18.719,40	16.093,96	4.474,05	3.846,55
	Outros	22.487,40	20.794,04	5.374,62	4.969,90
		22.951,40	21.184,63	5.485,52	5.063,25

Fonte: Autor

Segundo o *World Bank* (1999) *apud* Leite (2016) para viabilizar a recuperação energética pela incineração o PCI médio anual dos RSU deve ficar entre 6.000 kJ/kg (1.433,08 kcal/kg) e 7.000 kJ/kg (1.433,08 kcal/kg).

E conforme EPE (2013), a classificação do RSUs conforme o seu PCI não deva ser condicionante para estabelecimento do processo de destinação, no entanto recomenda-se que: para PCI menor que 1.65 kcal/kg, a incineração não é tecnicamente viável (devido a dificuldades técnicas além da necessidade de adição de combustível auxiliar); para PCI menor que 2.000 kcal/kg e maior que 1.675 kcal/Kg, a viabilidade técnica da incineração ainda depende de algum tipo de pré-tratamento que eleve o poder calorífico do RSU; para PCI maior que 2.000 kcal/kg, a queima bruta (*mass burn*) é tecnicamente viável.

Assim, conforme *World Bank* (1999) *apud* Leite (2016) e EPE (2013), devido ao fato dos RSUs de Campo Grande/MS apresentarem PCI de 21.184,63 kJ/kg (5.063,25 kcal/kg), o aproveitamento energético através da rota de incineração é tecnicamente viável.

4.3.3. Caracterização da Unidade de Recuperação Energética

Segundo CEMPRE (2010) *apud* Leite (2016) a incineração é o processo de aproveitamento energético dos RSU mais utilizado no mundo, com diversas unidades comerciais em operação, principalmente em países com disponibilidade limitada de área (LUCKE, 2012; GOMES, 2014). Conforme Paro *et al.* (2008) *apud* Leite (2016) o processo de incineração produz cerca de 4 vezes mais eletricidade comparado ao aterro sanitário, emitindo 10 vezes menos CO₂.

O aproveitamento energético dos RSU, através da incineração controlada, é justificado devido à existência de sistemas altamente tecnológicos, que proporcionam elevadas eficiências, baixas emissões de poluentes e assegurado pela presença de uma indústria madura e consolidada, especialmente considerando os países da Europa, Ásia e América do Norte (OLIVEIRA, 2004).

Conforme Henriques (2004), a incineração de RSU para fins energéticos caracteriza-se como a principal escolha devido a sua elevada eficiência de conversão energética. Ressalta-se que a partir da evolução dos sistemas estima-se que sua contribuição para a matriz energética nacional seja da ordem de 29,9 GWh. Segundo Pavan (2010), o potencial brasileiro estimado para a geração de eletricidade através da incineração de RSU foi de 16 GW.

Salienta-se que esta tecnologia possui como benefício a redução da dependência de combustíveis fósseis, da emissão de gases do efeito estufa, do volume dos resíduos encaminhados ao aterro sanitário, associado ao fato de permitir o uso direto do material, não necessitando de tratamento inicial (HENRIQUES, 2004; LEME, 2010; LUCKE, 2012; GOMES, 2014; LEITE, 2016).

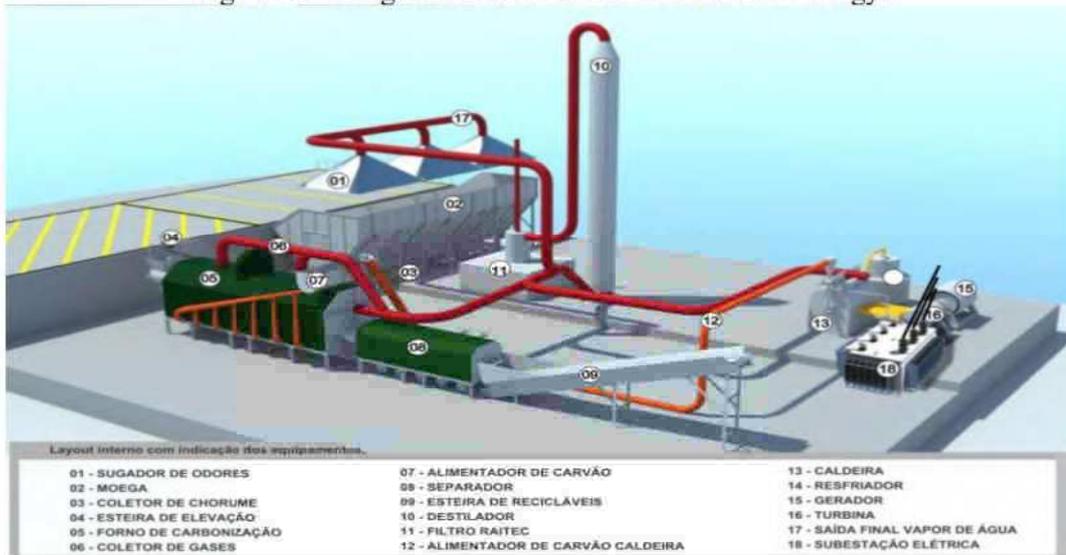
Para possibilitar a execução deste trabalho foi realizada intensa pesquisa acerca de empresas nacionais que fornecessem equipamentos e tecnologia para geração de energia elétrica através da incineração de resíduos sólidos urbanos.

No decorrer da pesquisa foi identificada a Usitrar Eco-Energy, empresa brasileira, com sede em São Luís (Maranhão), que atua no segmento de aproveitamento energético de RSU. A Usitrar Eco-Energy foi fundada em 2012, com propósito de ser especializada no aproveitamento energético da biomassa com a finalidade de geração de energia elétrica (USITRAR, 2019).

Após contato inicial e explanação do escopo desta pesquisa, a empresa concordou em apresentar a sua solução para o aproveitamento energético em conjunto com a especificação e orçamento para construção de uma URE no município de Campo Grande/MS. Vale ressaltar que a empresa ainda não possui nenhuma planta instalada ou em operação, fato este que motivou a pesquisa de dados complementares em outros trabalhos acadêmicos.

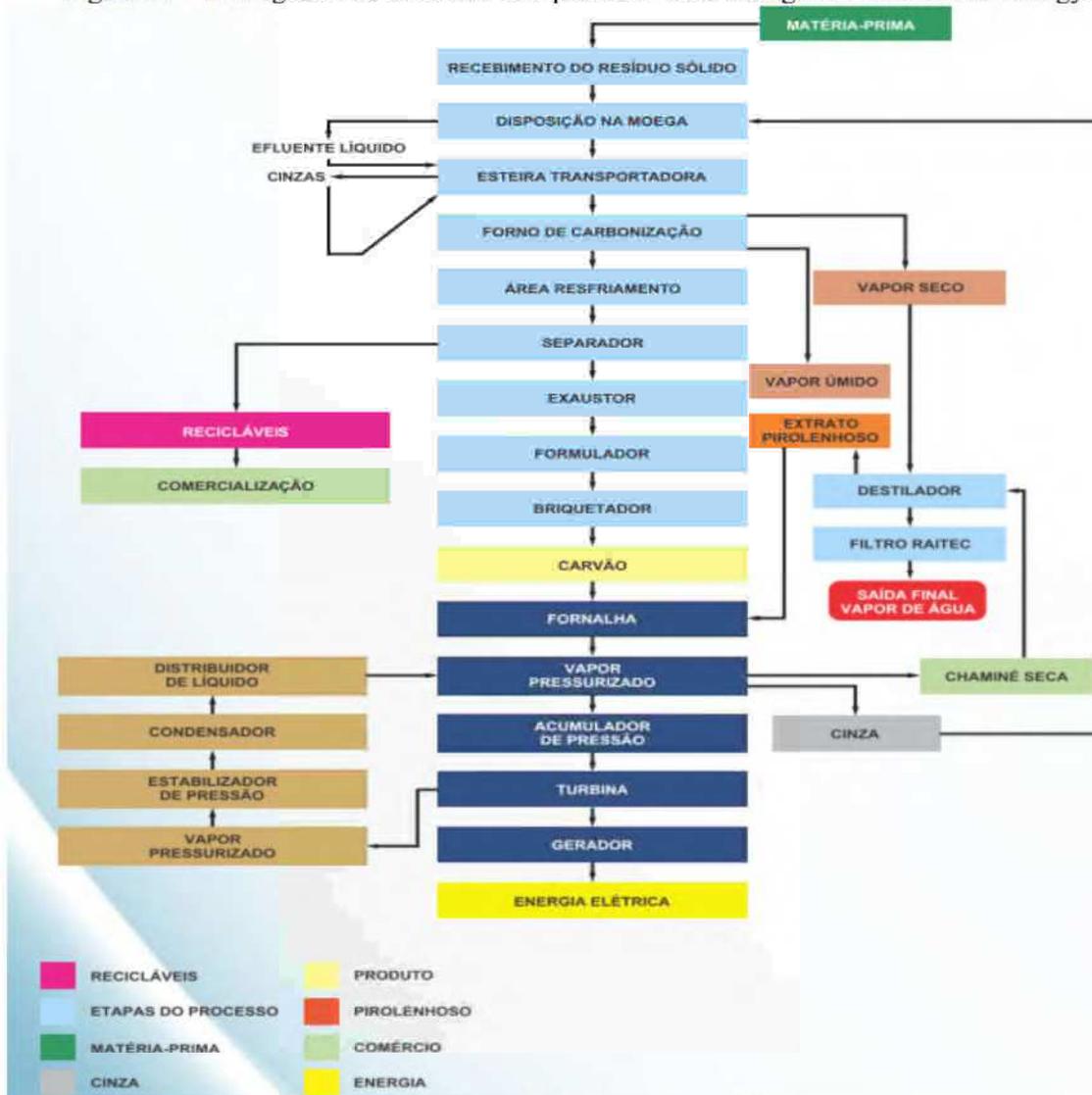
A solução de recuperação energéticas de RSU fornecida pela empresa é caracterizada pela rota tecnológica de incineração através do processo de pirólise dos resíduos sólidos. O respectivo processo é caracterizado pela simplicidade e elevação do potencial energético dos resíduos (USITRAR, 2019). A Figura 18 apresenta o diagrama básico e a Figura 19 apresenta o fluxograma do processo de recuperação energética da URE fornecida pela Usitrar Eco-Energy.

Figura 18 – Diagrama Básico da URE Usitrar Eco-Energy.



Fonte: Usitrar Eco-Energy (2019).

Figura 19 – Fluxograma do Processo de Aproveitamento Energético Usitrar Eco-Energy.



Fonte: Usitrar Eco-Energy (2019).

Segundo a Usitrar (2019), os processos e equipamentos são compatíveis com as exigências da legislação federal, CONAMA nº 316 e 382, assim como as exigências do artigo 9º da Lei nº 12.305 que considera as tecnologias para o aproveitamento energético de resíduos para geração de energia.

Com base no fluxograma de processo, verifica-se que alguns dos equipamentos utilizados no processo de recuperação são comuns e similares aos utilizados em outros processos industriais. Como exemplo é possível citar: a moega, as esteiras transportadoras, os separadores de materiais, os exaustores, os destiladores, as chaminés, os distribuidores de gases e vapores, os condensadores e entre outros.

No entanto, devido as características físico-químicas dos resíduos alguns equipamentos e máquinas possuem adequações que o tornam bastante específicos, sendo exemplo: o forno de carbonização, o briquetador, a fornalha/caldeira e os filtros (DI CHIRICO, 2013).

Conforme Usitrar Eco-Energy (2019) o forno de carbonização é responsável pela desidratação dos RSD sob temperatura constante de 900°C por 1 hora em condição subestequiométrica (oxigênio abaixo do nível necessário para a combustão). O resultado do processo é a obtenção de hulha, ou seja, carvão de RSU.

Os filtros são responsáveis pela remoção dos materiais tóxicos presente nos gases resultante do processo de combustão. Para o caso de usinas abastecidas com resíduos urbanos, ou seja, materiais heterogêneos os filtros devem dispor de tecnologia para remoção de furanos e dioxinas presentes nos gases de combustão (LUCKE, 2008).

A solução apresentada pela Usitrar Eco-Energy (2019) possui sistema de filtragem composto por filtros e destilador. Desta forma, os poluentes não removidos no sistema de filtragem passam pelo processo de lavagem dos gases e são removidos após a sua combinação com água.

4.3.4. Análise de Viabilidade Técnica

Conforme já informado, de forma simplificada, a incineração consiste no processo de transformação das propriedades físicas e químicas de um determinado material através da elevação da temperatura (POLLETO, 2008).

Assim, o planejamento de unidades de recuperação energéticas dos resíduos sólidos deve considerar diversos fatores, entre eles, o tipo e as características do material; a tecnologia

de conversão; as condições, requisitos e exigências do processo; as receitas e despesas associadas; e as emissões e rejeitos do processo (POLLETO, 2008).

Conforme informado no Capítulo 3 que trata a metodologia, a partir dos dados relacionados aos RSUs de Campo Grande/MS foi realizado o dimensionamento dos elementos principais de uma usina típica de incineração direta de RSU tendo como ponto de partida a massa total, composição e disponibilidade dos RSUs (Base Seca e Sem Cinzas) apresentado na Tabela 12 e o poder calorífico apresentado na Tabela 13.

Tabela 12 – Massa total, Composição e Disponibilidade de RSUs de Campo Grande/MS

Parâmetro	Valor	Unidade
População total do município (ano base 2019)	895.982,00	hab.
Massa Total de RSUs Produzido no Município	302.439,00	t/ano
Produção de RSU por habitante/dia	0,92	kg/hab/dia
Massa de Papel e Papelão	38.107,31	t/ano
Massa de Metais	2.812,68	t/ano
Massa de Vidros	7.802,93	t/ano
Massa de Plásticos	63.149,26	t/ano
Massa de Matéria Orgânica	140.150,23	t/ano
Massa de Rejeitos	50.204,87	t/ano
Massa de Materiais Perigosos	211,71	t/ano
Massa de RSU (Sem Perigosos)	302.227,29	t/ano
Massa de Papel e Papelão	36.102,14	t/ano
Massa de Plásticos	56.834,34	t/ano
Massa de Matéria Orgânica	39.942,82	t/ano
Massa de Rejeitos	29.898,71	t/ano
Massa de RSU (Base Seca e Sem Cinzas)	162.778,00	t/ano
Massa de RSU disponível para URE	162.778,00	t/ano

Fonte: Autor

Através da análise da Tabela 12 verifica-se que o município de Campo Grande/MS possui 895.982 habitantes cuja produção de RSUs é de 302.439 t/ano (base úmida), ou seja, geração per capita de 0,92 kg/hab/dia. Considerando, a massa de RSU na base seca com ausência de cinzas e resíduos perigosos a massa de RSU disponível para recuperação energética é de 162.788 t/ano.

Tabela 13 - Poder Calorífico dos RSUs de Campo Grande/MS (Base Seca e Sem Cinzas).

Tipo de Material	Massa (t/ano)	Superior	Inferior	Superior	Inferior
		(MJ/t)		(Mcal/t)	
Papelão	26.720,49	15,40	14,10	3,68	3,37
Papel branco	4.036,96	15,47	14,16	3,70	3,38
Papel colorido	2.501,78	15,47	14,16	3,70	3,38
Emb. multicamadas	2.842,93	22,49	21,17	5,38	5,06
Plástico rígido	4.572,88	26,51	24,93	6,34	5,96
PET	3.348,00	26,51	24,93	6,34	5,96
Plástico filme	45.320,48	26,51	24,93	6,34	5,96
Isopor	1.088,78	26,51	24,93	6,34	5,96
Outros plásticos	2.504,19	40,62	38,43	9,71	9,18
Resíduos orgânicos	39.942,82	18,72	15,61	4,47	3,73
Sanitários	16.721,85	18,72	16,09	4,47	3,85
Outros	13.176,86	22,49	20,79	5,37	4,97
	162.778,00	21,35	19,33	5,10	4,62

Fonte: Autor

Com base nos dados apresentados na Tabela 13 verifica-se que apesar de haver variação do potencial energético entre os tipos de RSU, o poder médio dos RSUs do município possui poder calorífico superior de 21,35 MJ/t (5,10 Mcal/t) e inferior de 19,33 MJ/t (4,62 Mcal/t).

A título de comparação, segundo Di Chirico (2013), o conteúdo energético de 1 tonelada de RSU é equivalente a 250 kg de água quente ou a 200 kg de carvão. Podendo fornecer de 4 a 6% da necessidade energética da população que o produz.

Conforme Themelis (2019) devido a heterogeneidade do material recém acondicionado uma URE de RSU não pode processar todo o material disponível, sendo utilizado o fator de capacidade de 91%. Soma-se, a isso, o fato de que nenhuma instalação pode operar continuamente durante o ano todo, assim a disponibilidade operacional média das URE é de 8.000 horas/ano.

Segundo Gomes (2004), Henriques (2004), Lemes (2010) e Mamede (2017), os rendimentos médios globais dos sistemas de conversão energética são: caldeira, 70%; turbina, 30%; gerador elétrico, 80%.

Assim, a partir das informações supracitadas, procedeu-se com os cálculos de dimensionamento dos principais elementos que compõem uma usina típica de incineração. A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos da viabilidade técnica o sistema.

Tabela 14 - Características Básicas da UREs para Campo Grande/MS.

Parâmetro	Valor	Unidade
Resíduos Sólidos Urbanos (Sem cinzas, base seca)	173.393,61	t/ano
Metais, vidros e etc	10.615,61	t/ano
Massa Total de RSU Disponível para URE	162.778,00	t/ano
Fator de capacidade (média global)	0,91	-
	148.127,98	t/ano
Capacidade Operacional da URE	405,83	t/dia
	16,91	t/h
Poder Calorífico Inferior dos RSUs	19,33	MJ/t
Energia Térmica Total dos RSU da URE (Calor)	90,80	MW
Rendimento da caldeira	0,70	-
Rendimento da turbina	0,30	-
Potência térmica da URE	19,07	MW
Rendimento do gerador elétrico	0,80	-
Potência elétrica da URE	15,25	MW
Regime de operação (média global para WTE)	8.000	h/ano

Fonte: Autor

Conforme Di Chirico (2013), Themelis (2019) uma parte da energia produzida pela URE serve para abastecimento dos seus sistemas secundários, sendo 18% a média global de

autoconsumo. A Tabela 15 apresenta o montante de geração energética, autoconsumo e energia excedente da URE.

Tabela 15 – Energia elétrica produzida, consumida e excedente da URE de RSUs de Campo Grande/MS.

	122.028,69	MWh/ano
Energia elétrica total produzida	334,33	MWh/dia
	13,93	MWh
	21.965,16	MWh/ano
Energia elétrica consumida (autoconsumo)	60,18	MWh/dia
	2,51	MWh
	100.063,53	MWh/ano
Energia elétrica excedente	274,15	MWh/dia
	11,42	MWh

Fonte: Autor

Através da análise da Tabela 15 verifica-se que a partir dos RSUs de Campo Grande/MS é possível a produção total de 122.208,69 MWh/ano de energia elétrica, ou seja, 334,33 MWh/dia. Desta forma, descontando a eletricidade autoconsumida que equivale a 18% do total produzido, o saldo energético da URE é de 100.063,53 MWh/ano, ou seja, 274,15 MWh/dia.

Desta forma, considerando o processamento de 405,83 t/dia de RSU com a consequente geração de 334,33 MWh/dia de eletricidade, a Unidade de Recuperação Energética operando a partir dos RSUs de Campo Grande/MS apresenta produção específica de 823,82 kWh/t de RSU incinerado.

Para efeito de comparação, conforme Porteous (2001); Centro Clima (2005) *apud* Polleto (2008), 1 tonelada de RSU pode produzir cerca de 500 kWh de energia elétrica e 580 kWh segundo Dijkgraaf *et al.* (2004).

Conforme Oliveira (2004), a partir da incineração controlada de 500 t/dia (20,83 t/hora) dos resíduos sólidos domiciliares possui potencial energético equivalente ao de uma usina termelétrica com 16 MW de potência instalada, ou seja, rendimento aproximado de 0,7 MWh/t.

4.3.5. Análise de Viabilidade Econômica

Conforme já informado, segundo Polleto (2008) e Mamede (2017) a análise de viabilidade econômica considera os dados da viabilidade técnica, assim como os aspectos relativos à capacidade de processamento, investimento inicial, custos com mão de obra, operação e manutenção, taxas, impostos, receitas e despesas do empreendimento.

Os valores de referência utilizados como condicionante da análise de viabilidade econômica são apresentados na Tabela 16, e consideram os parâmetros seguintes: a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 2% ao ano, taxa Selic vigente (COPON, 2020); 20 anos de

vida útil para a URE (DI CHIRICO, 2013); taxa de juros de 10,00% ao ano para financiamento (FCO, 2020); taxa de depreciação anual de 5,00% ao ano (EPE, 2018); o valor de venda da eletricidade é R\$ 173,64/MWh (média 12 meses, submercado SE/CO) (CCEE, 2020); o valor de venda dos materiais recicláveis utilizam o valor médio de mercado (LITORAL LIMPO, 2020; CEMPRE, 2020).

Tabela 16 - Parâmetros básicos para a viabilidade econômica.

Parâmetros	Valor	Unidade
Taxa de atratividade	2,00	% ao ano
Vida útil (média global)	20,00	anos
Depreciação anual	5,00	% ao ano
Inflação estimada	3,54	% ao ano
Taxa de juros no financiamento	10,00	% ao ano
Valor de venda da eletricidade excedente	173,64	R\$/MWh
Valor da venda de materiais para reciclagem (vidros)	50,00	R\$/t
Valor da venda de materiais para reciclagem (metais)	300,00	R\$/t
Valor de venda de subprodutos	30,00	R\$/t
Prazo de Instalação	12,00	meses

Fonte: Autor

Conforme já informado nos tópicos anteriores, com intuito de obter os custos associados a implantação/instalação, operação e manutenção de uma Unidades de Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos em Campo Grande/MS foi feito contato com empresas que atuam neste ramo de atividade. Sendo que, considerando o escopo desta pesquisa científica, a Usitrar Eco-Energy (2019) encaminhou a proposta com os custos para instalação (Tabela 17) e de funcionamento (Tabela 18).

Tabela 17 – Estratificação dos Custo para Implantação da URE em Campo Grande/MS.

Parâmetros	Valor	Unidade
Projetos e estudos	12.387.600,00	R\$
Licenças, taxas e tributos	459.000,00	R\$
Terreno, obras e construção civil	19.272.600,00	R\$
Máquinas e equipamentos	21.880.800,00	R\$
Investimento inicial	54.000.000,00	R\$

Fonte: Usitrar Eco-Energy (2019) – Adaptado pelo autor

Com base nos dados apresentados na Tabela 17 verifica-se que o investimento necessário para instalação da Unidade de Recuperação Energética de RSUs em Campo Grande/MS com capacidade de máxima de 600 t/h (16 MW de Potência Elétrica) é de R\$ 54.000.000,00. A decomposição do custo unitário conforme sistemas e subsistemas utilizou a estratificação percentual baseada em Henriques (2004), Mamede (2017) e Themelis (2019).

Os custos de funcionamento da URE são apresentados na Tabela 18 estratificados nas componentes básicas: mão-de-obra; manutenção; operação; e outros. Os respectivos valores foram fornecidos pela Usitrar Eco-Energy (2019).

Tabela 18 - Projeção dos custos de funcionamento da URE.

Parâmetros	Valor	Unidade
Mão de obra	2.742.942,80	R\$/ano
Manutenção	3.325.818,15	R\$/ano
Operação	702.879,09	R\$/ano
Outros	85.716,96	R\$/ano
Custos Totais	6.857.357,01	R\$/ano

Fonte: Usitrar Eco-Energy (2019)

Devido a criticidade dos valores relativo as receitas da URE, a projeção das receitas com base na venda da energia excedente, materiais para reciclagem e subprodutos são apresentadas na Tabela 19, sendo elaboradas com base nos dados indicados na Tabela 16.

Tabela 19 - Projeção de Receitas para a URE.

Parâmetros	Valor	Unidade
Eletricidade exportada	17.375.030,68	R\$/ano
Venda de Materiais para Reciclagem	1.065.190,16	R\$/ano
Venda de Subprodutos (carvão, cinzas e extratos)	266.630,37	R\$/ano
Receitas Totais	18.706.851,21	R\$/ano

Fonte: Autor

Desta forma, considerando as informações supracitadas, a Tabela 20 apresenta a projeção de fluxo de caixa considerando o investimento inicial, as despesas com custeio, receitas e depreciação.

Tabela 20 - Projeção de Fluxo de Caixa da URE.

Período	Parâmetros				Fluxo de Caixa		Saldo	
	Investimento	Custeio	Receitas	Depreciação	Simplex	Descontado	Simplex	Descontado
	0	-54.000.000,00	0,00	0,00	0,00	-54.000.000,00	-54.000.000,00	-54.000.000,00
1	0,00	-6.857.357,01	18.706.851,21	-2.700.000,00	9.149.494,20	8.317.722,00	-44.850.505,80	-45.682.278,00
2	0,00	-7.100.107,45	19.369.073,74	-2.565.000,00	9.703.966,30	8.019.806,86	-35.146.539,50	-37.662.471,14
3	0,00	-7.351.451,25	20.054.738,96	-2.436.750,00	10.266.537,70	7.713.401,73	-24.880.001,80	-29.949.069,41
4	0,00	-7.611.692,63	20.764.676,71	-2.314.912,50	10.838.071,59	7.402.548,72	-14.041.930,21	-22.546.520,69
5	0,00	-7.881.146,55	21.499.746,27	-2.199.166,88	11.419.432,85	7.090.569,35	-2.622.497,36	-15.455.951,33
6	0,00	-8.160.139,13	22.260.837,29	-2.089.208,53	12.011.489,62	6.780.172,75	9.388.992,26	-8.675.778,58
7	0,00	-8.449.008,06	23.048.870,93	-1.984.748,10	12.615.114,77	6.473.548,55	22.004.107,03	-2.202.230,02
8	0,00	-8.748.102,94	23.864.800,96	-1.885.510,70	13.231.187,32	6.172.446,53	35.235.294,35	3.970.216,51
9	0,00	-9.057.785,79	24.709.614,91	-1.791.235,16	13.860.593,96	5.878.244,89	49.095.888,31	9.848.461,40
10	0,00	-9.378.431,40	25.584.335,28	-1.701.673,41	14.504.230,47	5.592.008,73	63.600.118,78	15.440.470,12
11	0,00	-9.710.427,88	26.490.020,75	-1.616.589,74	15.163.003,14	5.314.540,10	78.763.121,91	20.755.010,22
12	0,00	-10.054.177,02	27.427.767,48	-1.535.760,25	15.837.830,21	5.046.420,79	94.600.952,13	25.801.431,01
13	0,00	-10.410.094,89	28.398.710,45	-1.458.972,24	16.529.643,33	4.788.048,88	111.130.595,45	30.589.479,89
14	0,00	-10.778.612,25	29.404.024,80	-1.386.023,62	17.239.388,93	4.539.669,91	128.369.984,38	35.129.149,80
15	0,00	-11.160.175,12	30.444.927,28	-1.316.722,44	17.968.029,72	4.301.403,46	146.338.014,10	39.430.553,26
16	0,00	-11.555.245,32	31.522.677,71	-1.250.886,32	18.716.546,06	4.073.265,74	165.054.560,16	43.503.819,00
17	0,00	-11.964.301,01	32.638.580,50	-1.188.342,01	19.485.937,49	3.855.188,85	184.540.497,65	47.359.007,85
19	0,00	-12.387.837,26	33.793.986,25	-1.128.924,91	20.277.224,08	3.315.488,17	204.817.721,73	50.674.496,02
20	0,00	-12.826.366,70	34.990.293,36	-1.072.478,66	21.091.448,00	3.135.109,35	225.909.169,73	53.809.605,37

Fonte: Autor

O método clássico de análise de viabilidade econômica dos projetos é determinado por 3 (três) indicadores financeiros, o *Payback*, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) baseados no fluxo de caixa do empreendimento (HENRIQUES, 2004;

SANTOS *et al.*, 2017). Assim, os indicadores econômicos da URE de RSUs de Campo Grande/MS são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Indicadores Econômicos da URE.

Indicadores Econômicos			
Parâmetros		Valor	Unidade
Valor Presente Líquido	VPL	170.866.529,88	R\$
Taxa Interna de Retorno	TIR	21,03%	%
Payback	Simple	5,22	anos
	Descontado	7,18	

Fonte: Autor

Através da análise da Tabela 21, verifica-se que a implantação de uma Unidade de Recuperação Energética de Resíduos Sólidos em Campo Grande/MS com capacidade para processamento de 405,83 t/dia de RSUs com investimento inicial de R\$ 54.000.000,00 apresenta VPL de R\$ 170.866.529,88 TIR de 21,03%, *Payback* Simple de 5,22 anos e Descontado de 7,18 anos.

Devido ao Valor Presente Líquido (VPL) apresentar valor superior ao montante de Investimento Inicial, acrescido ao fato de a Taxa Interna de Retorno (TIR) ser superior ao valor da Taxa Mínima de Atratividade (TMA), são indicativos da viabilidade para a implantação da URE de RSUs em Campo Grande/MS.

No entanto, segundo Henriques (2004) e Santos *et al.* (2017), a metodologia tradicional caracterizada no fluxo de caixa apresenta algumas limitações para a avaliação de projetos de engenharia. Assim, adicionalmente aos indicadores econômicos foi realizada a Análise de Custo/Benefício da URE de RSUs, cujos resultados são apresentados na Tabela 22

Tabela 22 - Avaliação de Custo/Benefício da URE

Parâmetros	Valor	Unidade
Investimento da Usina	54.000.000,00	R\$
Energia elétrica exportada	100.063,53	MWh/ano
Custo do Investimento	0,01	R\$
Taxa anual de desconto	6,00%	-
Vida útil da usina	20,00	anos
Fator de recuperação de capital	0,09	-
Custo total de operação e manutenção	33,24	R\$/MWh
Potência da URE	15,25	MW
Custo de Manutenção e Operação	5,78E-07	R\$/MW
Investimento em Transmissão	0,00	R\$
Fator de recuperação de capital com transmissão	2,0%	-
Custo de Transmissão	0,00	R\$
Custo unitário do combustível	0,00	R\$/ano
Consumo específico da usina	0,00	R\$/ano
Custo do combustível	0,00	R\$/ano
Custo do Investimento	54.000.000,00	R\$
Custo de Manutenção e Operação	6.857.357,01	R\$/ano
Custo de Transmissão	0,00	R\$/ano
Custo com Combustível	0,00	R\$/ano
Índice Custo/Benefício	60.857.357,01	R\$

Fonte: Autor

5. DISCUSSÃO

O presente capítulo faz a discussão dos resultados obtidos durante o desenvolvimento dessa pesquisa com foco na avaliação dos resultados, oportunidades e dificuldade encontradas durante o desenvolvimento do escopo proposto e sugere propostas de trabalhos complementares.

5.1. Avaliação dos Resultados

Durante o desenvolvimento deste trabalho foi verificado que o município de Campo Grande/MS possui 895.982 habitantes, cuja produção de RSUs per capita é de 0,92 kg/hab/dia, totalizando 302.439 t/ano.

Após a remoção dos resíduos perigosos, remoção das cinzas presentes e desidratação dos compostos úmidos misturados ocorre a redução de 46,06% da massa total de resíduos. O potencial energético dos RSU representado pelo poder calorífico superior é de 21,35 MJ/t (5,10 Mcal/kg) e inferior é de 19,33 MJ/t (4,62 Mcal/t).

Para efeito de comparação, segundo Porteous (2001) *apud* Polleto (2008), o poder calorífico típico dos resíduos sólidos com origem urbana é de 10.000 MJ/t. E para o caso de Campo Grande/MS o poder calorífico inferior teórico obtido é de 17.314,11 MJ/t.

Na sequência, com base nas características locais dos RSUs verificou-se o potencial térmico de 90,80 MW através do processamento de 16,91 t/h de RSU cujo potencial de geração de energia elétrica estimado é de 122.028,69 a partir de unidade com 16 MW de potência elétrica.

Considerando o investimento necessários, custos operacionais, receitas estimadas a partir da projeção do fluxo de caixa foi verificado Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 170.866.529,88, Taxa Interna de Retorno (TIR) de 21,03%, *Payback* Simples de 5,22 anos e Descontado de 7,18 anos. Adicionalmente, o Índice Custo/Benefício do empreendimento é de R\$ 60.857.357,01.

A partir dos dados apresentados nos tópicos anteriores, verificou-se que existe viabilidade técnica para o aproveitamento energético dos RSU coletados em Campo Grande/MS. Entretanto, apesar dos indicadores econômicos do empreendimento serem positivo e indicarem sua viabilidade, possivelmente devido ao elevado investimento inicial necessário, não existe planejamento para a implantação de uma URE no município de Campo Grande/MS.

Observa-se que para a execução deste estudo foram considerados somente os aspectos econômicos diretos sob o ponto de vista do investidor, ou seja, não foram considerados os benefícios sociais, ambientais e tecnológicos.

Assim, verifica-se que caso sejam avaliados os aspectos indiretos, ou seja, os benefícios sociais, ambientais e tecnológicos provenientes desta tecnologia, não considerando unitariamente a questão do retorno econômico, o presente projeto poderá tornar-se mais vantajoso.

O presente estudo alerta para a necessidade de condução de novos estudos considerando outras premissas e condicionantes com intuito de ampliar o debate relacionado ao problemática de reciclagem, recuperação energética e destinação final dos RSUs.

5.2. Oportunidades

Mesmo a coleta, tratamento e disposição final dos RSU sendo um problema nacional, estadual e municipal conhecido a vários anos, somente após a conclusão dos debates políticos e a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em 2010, iniciou-se a busca por alternativas.

Desta forma, considerando o âmbito nacional, o campo de pesquisa e planejamento para operacionalização da recuperação energética em massa apresenta diversas oportunidades. Haja visto que devido a proibição de acondicionamento incorreto exigida pela PNRS e a escassez de áreas para a construção de aterros sanitários, a necessidade de apresentação de alternativas para resolução dos problemas sanitários pelo poder público sempre estará em alta.

5.3. Dificuldades

Durante a condução deste estudo foram identificadas as seguintes dificuldades:

- a) carência de dados oficiais acerca dos RSU, mais específicos quanto a: quantidade gerada, volume coletado, massa específica, composição gravimétrica, teor de umidade e outros;
- b) carência de empresas nacionais que atuem com o desenvolvimento, fabricação, fornecimento, instalação e manutenção de unidades de recuperação energética;

- c) necessidade de condução de simulações relativas à performance operacional dos equipamentos principais das UREs, haja vista a ausência de dados de *benchmark* e indicadores de processo.
- d) carência de estudos relacionados aos impactos ambientais associados a implementação destes empreendimentos. Devido às restrições ambientais entre países serem muito distintas, não se consegue obter uma metodologia para a comparação;
- e) carência de dados atualizados acerca dos créditos de carbono devido à falta de entendimento entre os países signatários dos acordos para redução das Emissões de Gases do Efeito Estufa e Mudanças Climáticas.

5.4. Trabalhos Futuros

No intuito de contribuir com o desenvolvimento tecnológico, implementação e utilização do aproveitamento energético dos resíduos sólidos no cenário federal (aspecto nacional), estadual (regional) e municipal (local) sugere-se a realização de novos estudos específicos em complementação ao presente trabalho.

Considerando o ponto de vista tecnológicos, neste estudo foi evidenciado a carência de informações, de fornecedores e de mantenedores de equipamentos específicos para aproveitamento energético de resíduos sólidos. Sendo que, mesmo que, boa parte dos sistemas utilizados no aproveitamento energético de resíduos sólidos seja similar aos utilizados em usinas termoelétricas movidas a cavaco e bagaço de cana-de-açúcar, existe certa dificuldade na obtenção de informações. Desta forma, salienta-se a importância da condução de estudo que fomentem e viabilizem novas rota tecnológicas ou aperfeiçoem as já existentes.

Com relação a característica dos resíduos sólidos municipais, neste trabalho foi utilizado um estudo realizado por uma empresa terceirizada, sob contratação da Prefeitura Municipal de Campo Grande/MS no ano de 2017. Considerando a diversidade demográfica, social e econômica do município de Campo Grande, faz-se necessário a atualização dos estudos de composição gravimétrica, massa específica e volume total produzido. Haja vista que os impactos socioeconômicos ocasionados pela pandemia do Coronavírus (Covid-19) e suas respectivas consequências podem ter alterado os padrões verificados neste estudo.

Quanto à questão de incentivos e desestímulos para o aproveitamento energético dos RSUs, faz-se necessário a realização de um estudo específico acerca do tema. Devido a

especificidade desse tema e da delimitação da abordagem tratada no presente trabalho não foram conduzidas pesquisas específicas a respeito.

Neste trabalho foram apresentadas diversas rotas tecnológicas cujo objetivo final é o aproveitamento energético dos RSU. No entanto, devido ao foco deste trabalho ser delimitado a técnica de combustão direta, ao final do trabalho verificou-se a necessidade de condução de estudo com foco específico na produção energética final considerando as outras rotas tecnológicas e suas respectivas comparações.

Recomenda-se o desenvolvimento de estudos ambientais com intuito de verificar, mensurar e mitigar os problemas relacionados à incineração controlada dos RSUs. Adicionalmente, deve-se promover a condução de estudos de caráter socioeconômico para verificar a existência, avaliar e propor soluções aos possíveis impactos na rotina das associações e catadores de recicláveis. Considera-se imprescindível, a verificação, avaliação e análise do potencial de redução que o processo de incineração controlada de RSUs pode provocar sobre as despesas do Sistema Único de Saúde (SUS) relacionado à contaminação das pessoas devido a poluição dos solos e águas provocados pelos lixões, aterros controlados e aterros sanitários.

6. CONCLUSÃO

A correta destinação dos RSU já é tema de estudos a vários anos, porém a aplicação no mundo real das soluções abordadas nos estudos ainda continua sendo um problema.

A tecnologia de aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos disponível no mundo já está consolidada. Entretanto, observa-se que há carência de empresas nacionais especializadas nesta tecnologia, fato que provoca receio e cautela em potenciais investidores para a execução de empreendimento desse porte. Certamente, as dificuldades de importação de peças, componentes e elementos somado a inexistência de mão de obra qualificada para a operação e manutenção pode ser um agravante adicional na decisão de investir ou não nessa forma de geração de energia.

Sendo assim, de forma sintetizada, a partir deste trabalho verifica-se que mesmo com todo o desenvolvimento tecnológico que a sociedade tem a sua disposição atualmente, a problemática dos resíduos sólidos ainda apresenta desafios relacionados a sua gestão e destinação final.

No presente trabalho, evidenciou-se que os RSUs de Campo Grande/MS apresentam potencial energético acima da média, fato este que reforçam a viabilidade técnica e econômica da implantação de uma Unidade de Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos em Campo Grande/MS apresentada por esta pesquisa científica. No entanto, devido aos custos elevados para implantação, operacionalização e manutenção da Unidades de Recuperação Energética de RSU, esse processo ainda permanece restritos aos países desenvolvidos.

É visível a carência de incentivos e fomento por parte das autoridades governamentais para a inclusão das usinas de recuperação energética dos RSUs, sendo a criação de linhas de créditos uma alternativa para redução dos custos de instalação, operação e manutenção.

Para concluir, verifica-se que a ideia de utilizar os Resíduos Sólidos Urbanos para a produção de energia elétrica inicialmente mostra-se viável. Contudo, quando são avaliados os investimentos necessários, riscos do negócio e comparada a outros modelos de negócios, obtém-se resultados que não tornam a implementação economicamente vantajosa.

No entanto, devido ao incremento das restrições e exigências relacionados a preservação do meio ambiente, acredita-se que em breve diversas UREs poderão estar em operação no Brasil e que o problema relacionado ao tratamento e destinação final dos RSUs será resolvido com soluções de aproveitamento e recuperação energética.

7. REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **Incineração de Resíduos Sólidos Perigosos - Padrões de Desempenho**, NBR-1265, 1989

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Resíduo Sólido – Classificação**, NBR 10.004, 1987.

ABRELPE [Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais]. **Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos**. São Paulo: ABRELPE, 2013. Disponível em < <https://abrelpe.org.br/atlas-brasileiro/> >. Acessado em: 22/01/2020.

ABRELPE [Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais]. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. São Paulo: ABRELPE, 2012. Disponível em <http://www.abrelpe.org.br/panorama_2017.php>. Acessado em: 22/05/2018.

ABRELPE [Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais]. **Recuperação Energética: Resíduos Sólidos Urbanos**. São Paulo: ABRELPE, 2017. Disponível em < <https://abrelpe.org.br/caderno-informativo-recuperacao-energetica/> >. Acessado em: 22/05/2019.

ABRELPE [Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais]. **Resíduos Sólidos: Manual de Boas Práticas no Planejamento**. São Paulo: ABRELPE, 2013. Disponível em <<https://abrelpe.org.br/download-residuos-solidos/>>. Acessado em: 22/06/2019.

ABRELPE [Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais]. **Estimativa dos Custos para Viabilizar a Universalização da Destinação Adequada de Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2015. Disponível em < <https://abrelpe.org.br/estimativa-dos-custos-para-viabilizar-a-universalizacao-da-destinacao-adequada-de-residuos-solidos-no-brasil/> >. Acessado em: 22/06/2019.

ALBARRACIN, Astrid Lorena Torres. **Biogás Oriundo de Resíduos Como Vetor Energético no Brasil**. 2016. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15112: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15113: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15114: Resíduos sólidos da Construção civil - Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2001.

BARIN, Alexandre. **Seleção de Sistemas de Geração de Energia Elétrica a partir de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem com a Lógica Difusa**. 2012. 153 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutor em Engenharia Elétrica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

BIG. Banco de Informação e Geração. **Capacidade de geração do Brasil**. 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

BRASIL 2011: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Petição. 1o set. 2004**. Disponível em:<http://www.justicaambiental.org/br/campanha_form.asp?conteudo_id=2029> Acessado em: 13/06/2019.

BRASIL Projeto de Lei nº 7.462, de 24 de março de 2017. **Altera a Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=BDB68C1193F90D50D0C6E8658C42C512.proposicoesWebExterno1?codteor=1558120&filename=Avulso+-PL+7462/2017>. Acessado em: 12/10/2019.

BRASIL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), **Regulamenta as Tarifas de Energia Elétrica**, Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/tarifaAplicada/index.cfm>> Acessado em: 22/06/2020.

BRASIL, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA N.º 005 de 15 de junho de 1989**, Publicada no D.O.U, de 30/08/89, Seção I, Pág. 15.048

BRASIL, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – MME, **Balanco Energético Nacional**, Brasília, 2018.

BRASIL, MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Programa Brasileiro de Reciclagem**. PBR. Disponível em: <www.reciclagem.ibict.br/pbr>, Acessado em: 20/07/2019.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. **Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. 2010a, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=BDB68C1193F90D50D0C6E8658C42C512.proposicoesWebExterno1?codteor=1558120&filename=Avulso+-PL+7462/2017>. Acessado em: 12/10/2019.

BRASIL. José Fernando Thomé Jucá. Fundação de Apoio Ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco (Org.). **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Recife: Fundação de Apoio Ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco, 2013. 186 p.

BRASIL. Lei 10.438, de abril de 2002, **Dispõe sobre a Expansão da Oferta de Energia Elétrica Emergencial, Recomposição Tarifária Extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa)**, 2002.

BRASIL. Lei Complementar nº 31, de 11 de outubro de 1977. **Cria o Estado de Mato Grosso do Sul, e dá outras providências**. Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/Lcp31.htm>. Acessado em: 17/03/2020.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Poder Executivo, Brasília, DF, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acessado em: 10/07/2020.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Câmara dos Deputados. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.html>. Acessado em: 12/10/2019.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, nº 147. p. 03. 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Plano Nacional de Eficiência Energética. Premissas e Diretrizes Básicas**. Ministério de Minas e Energia. 2011. 156 p. Disponível em: <http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/pasta-para-arquivar-dados-do-pes/Plano_Nacional_de_Eficiencia_Energetica.pdf>. Acessado em: 22/04/2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). CONMETRO. Resolução n. 04, de 15 de dezembro de 2010. **Dispõe sobre a aprovação do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV)**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resc/pdf/RESC000236.pdf>>. Acessado em: 12/10/2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 307, de 05 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acessado em: 12/10/2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 431, de 24 de maio de 2011. **Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, estabelecendo nova classificação para**

o gesso. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>>. Acesso em junho/2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 448, de 18 de janeiro de 2012. **Altera os Arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.** Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=672>>. Acessado em: 12/10/2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Sistema Nacional de Informações Sobre Resíduos Sólidos. Bancos de Dados e Sistemas Afins. Práticas de Gestão e Comunicação Social em Resíduos Sólidos.** 2013. Disponível em <<http://educares.mma.gov.br/index.php/reports/view/41>>. Acessado em: 12/10/2019.

BRASIL. Presidência da República. Decreto Nº 7.983, de 08 de abril de 2013. **Estabelece regras e critérios para elaboração do orçamento de referência de obras e serviços de engenharia, contratados e executados com recursos dos orçamentos da União, e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Decreto/D7983htm>. Acessado em: 12/10/2019.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 9795, de 27 de abril de 1999. **Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências.** Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9795.htm>. Acessado em: 12/10/2019.

BRASIL. Projeto de Lei do Senado nº 354, de 27 de outubro de 1989. **Dispõe sobre o acondicionamento, a coleta, o tratamento, o transporte e a destinação final dos resíduos de serviços de saúde.** Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/1711>>. Acessado em: 17/09/2020.

BRASIL. Projeto de Lei nº 1.991, de 13 setembro de 2007, Câmara dos Deputados. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências.** Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=502690&filename=Despacho-PL+1991/2007-13/09/2007>. Acessado em: 12/10/2019.

BRASIL. Projeto de Lei nº 203, de 01 de abril de 1991, Câmara dos Deputados. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=15158>>. Acessado em: 17/09/2020.

BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil.** 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120911_relatorio_construcao_civil.pdf>. Acessado em: 12/10/2019.

BRASIL. Senado Federal. Projeto de Lei do Senado PLS 425/2014. **Altera a Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010 que dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos.** 2014, Disponível

em:<<http://legis.senado.leg.br/diarios/BuscaDiario?tipDiario=1&datDiario=02/07/2015&paginaDireta=00282#>>. Acessado em: 12/10/2019.

BRASIL, Banco Central do. **Histórico das taxas de juros**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/pt-br/#!/c/COPOMJUROS>>. Acesso em: 15/10/2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT NBR 7211 – Agregado para concreto– Especificação. Rio de Janeiro, 1983.

BRASÍLIA. PNUD IPEA FJP. (Comp.). **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal: Campo Grande, MS**. 2013. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/data/rawData/publicacao_atlas_municipal_pt.pdf>. Acessado em: 10/01/2019.

CAIXETA, D. M. **Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano: O caso de Campo Grande/MS**, 86 p. 297 mm, (UnB-CDS, Especialização, Resíduos Sólidos, 2005).

CALDERONI, S. **Os Bilhões Perdidos no Lixo**. São Paulo: Humanitas Publicações FFLCH/USP, 1997.

CAMPO GRANDE - PMCG. Agência Municipal De Regulação Dos Serviços Públicos. Contrato 332/2012, de 25 de outubro de 2012. **Contrato de Parceria Público Privada que entre si celebram o Município de Campo Grande e CG SOLURB Soluções Ambientais SPE LTDA**. Diário Oficial de Campo Grande, Campo Grande, MS, ano XV, n. 3.632 p. 04, 26 outubro 2012. Disponível em: <<http://www.campogrande.ms.gov.br/agereg/artigos/contrato-deconcessao-n-332-2012-cg-solurb/>>. Acessado em: 10/07/2019.

CAMPO GRANDE. Decreto nº 11.142, de 17 de março de 2010. Câmara dos Vereadores. **Dispõe sobre a regulamentação da Lei Complementar n. 152, de 30 de dezembro de 2009**. Disponível em:<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 18/09/2020.

CAMPO GRANDE. Decreto nº 11.797, de 09 de abril de 2012. Câmara dos Vereadores. **Aprova o Plano Municipal de Saneamento Básico - Gestão Integrada de Resíduos do Município de Campo Grande**. Disponível em:<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 18/09/2020.

CAMPO GRANDE. Decreto nº 12.254, de 26 de dezembro de 2013. Câmara dos Vereadores. **Aprova o Plano Municipal de Saneamento Básico de Campo Grande**. Disponível em:<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 18/09/2020.

CAMPO GRANDE. Decreto nº 13.653, de 23 de setembro de 2018. Câmara dos Vereadores. **Regulamenta o disposto no art. 8º, inciso II e artigos 12 e 13 da Lei Complementar n. 209, de 27 de dezembro de 2012, referente à obrigatoriedade de coleta, transporte, tratamento e destinação dos resíduos sólidos e disposição final dos rejeitos provenientes dos grandes geradores**. Disponível em:<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 17/09/2020.

CAMPO GRANDE. Decreto nº 13.720, de 06 de dezembro de 2018. Câmara dos Vereadores. **Altera e insere dispositivos ao Decreto nº 13.653, de 26 de setembro de 2018 e dá outras**

providências. Disponível em: <<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 17/09/2020.

CAMPO GRANDE. Eunice Pacheco Lino Pedroso. Agência Municipal de Meio Ambiente e Planejamento Urbano (planurb) (Org.). **Perfil Socioeconômico de Campo Grande.** 26. ed. Campo Grande: Agência Municipal de Meio Ambiente e Planejamento Urbano, 2019.

CAMPO GRANDE. Lei 4.952, de 28 de junho de 2011. Câmara dos Vereadores. **Institui o Programa por Serviços Ambientais - PSA no município de Campo Grande.** Disponível em:<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 18/09/2020.

CAMPO GRANDE. Lei Complementar nº 160. Câmara dos Vereadores. **Autoriza o poder executivo municipal a instituir o programa eco-pontos no município de Campo Grande e dá outras providências.** Disponível em:<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 18/09/2020.

CAMPO GRANDE. Lei Complementar nº 168, de 26 de novembro de 2010. Câmara dos Vereadores. **Autoriza o poder executivo a implantar pontos de entrega voluntária de medicamentos vencidos e institui a política de informação sobre os riscos ambientais causados pelo descarte incorreto desse produto.** Disponível em: <<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 18/09/2020.

CAMPO GRANDE. Lei Complementar nº 341, de 4 de dezembro de 2018. Câmara dos Vereadores. **Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Campo Grande (PDDUA) e dá outras providências.** Disponível em: <<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 17/09/2020.

CAMPO GRANDE. Lei Complementar nº 145, de 03 de dezembro de 2009. Câmara dos Vereadores. **Dispõe sobre recolhimento e destinação dos pneus inservíveis no município de Campo Grande e dá outras providências.** Disponível em: <<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 19/03/2020.

CAMPO GRANDE. Lei Complementar nº 174, de 03 de maio de 2011. Câmara dos Vereadores. **Institui o Programa Municipal de Coleta e Reciclagem de Óleos de origem vegetal, no âmbito do Município de Campo Grande/MS.** Disponível em: <<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 18/09/2020.

CAMPO GRANDE. Lei Complementar nº 209, de 27 de dezembro de 2012. Câmara dos Vereadores. **Institui o Código Municipal de Resíduos Sólidos e disciplina a limpeza urbana no município de Campo Grande.** Disponível em:<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 18/09/2020.

CAMPO GRANDE. Lei Municipal nº 5.664, de 15 de janeiro de 2006. Câmara dos Vereadores. **Dispõe sobre a Instituição do Programa "Adote uma Lixeira" nos logradouros públicos do município de Campo Grande - MS.** Disponível em:<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 19/03/2020.

CAMPO GRANDE. Lei nº 1.866, de 26 de dezembro de 1979. Câmara dos Vereadores. **Institui o Código de Obras do município de Campo Grande - MS.; e dá outras providências.** Disponível em:<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 28/01/2020.

CAMPO GRANDE. Lei nº 2.909, de 28 de julho de 1992. Câmara dos Vereadores. **Institui o Código de Política Administrativa do Município de Campo Grande/MS;** e dá outras providências. Disponível em: :<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 26/07/2019.

CAMPO GRANDE. Lei nº 4.864, de 07 de julho de 2010. Câmara dos Vereadores. **Dispõe sobre a gestão de resíduos da construção civil e institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil de acordo com o previsto na Resolução CONAMA n. 307/2002, no âmbito do município de Campo Grande/MS e dá outras providências.** Disponível em:<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 18/09/2020.

CAMPO GRANDE. Lei nº 4.888, de 31 de agosto de 2010. Câmara dos Vereadores. **Dispõe sobre campanha permanente de orientação a crianças, adolescentes e jovens sobre a implantação da coleta seletiva de lixos e resíduos sólidos.** Disponível em:<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 18/09/2020.

CAMPO GRANDE. Lei nº 4.952, de 28 de junho de 2011. Câmara dos Vereadores. **Institui a Política Municipal de Resíduos Sólidos em Campo Grande/MS.** Disponível em:<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 18/09/2020.

CAMPO GRANDE. Lei nº 3.042, de 09 de maio de 1994. Câmara dos Vereadores. **Dispõe sobre a coleta seletiva, reciclagem e destino final do lixo;** e dá outras providências. Disponível em: :<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acesso em: 17/09/2020.

CAMPO GRANDE. Lei nº 3.176, de 11 de julho de 1995. Câmara dos Vereadores. **Dispõe sobre a criação do Conselho Municipal do Meio Ambiente – CMMA;** e dá outras providências. Disponível em: :<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 19/03/2020.

CAMPO GRANDE. Lei nº 3.612, de 30 de abril de 1999. Câmara dos Vereadores. **Institui o sistema municipal de licenciamento e controle ambiental - SILAM, cria o fundo municipal de meio ambiente - FMMA, e dá outras providências; e dá outras providências.** Disponível em: :<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 19/03/2020.

CAMPO GRANDE. Lei nº 3.747, de 19 de maio de 2000. Câmara dos Vereadores. **Dispõe sobre o meio ambiente como tema transversal para ser discutido em todas as disciplinas e atividades das escolas municipais de Campo Grande e dá outras providências.** Disponível em:<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 19/03/2020.

CAMPO GRANDE. Lei nº 3.785, de 22 de agosto de 2000. Câmara dos Vereadores. **Dispõe sobre a colocação de recipientes nas escolas municipais, para coleta de lixo reciclável e dá outras providências; e dá outras providências.** Disponível em::<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 19/03/2020.

CAMPO GRANDE. Lei nº 4.050, de 25 de junho de 2003. Câmara dos Vereadores. **Dispõe sobre o ordenamento do uso e da ocupação do solo no município de Campo Grande e dá outras providências.** Disponível em:<<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 19/03/2020.

CAMPO GRANDE. Lei nº 5.294, de 16 de janeiro de 2014. Câmara dos Vereadores. **Autoriza o Poder Executivo municipal a instituir o auxílio financeiro a catadores de materiais recicláveis.** Disponível em: <<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 18/09/2020.

CAMPO GRANDE. Lei nº 5.998, de 04 de maio de 2018. Câmara dos Vereadores. **Dispõe sobre a criação do "Selo Verde", a ser concedido às instituições públicas e privadas que se comprometam a adotar ações ambientais autossustentáveis.** Disponível em: <<https://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal>>. Acessado em: 17/09/2020.

CAMPO GRANDE. SEINTRHA - Secretaria Municipal de Infraestrutura, Transporte e Habitação. **Resíduos Sólidos.** Disponível em <http://www.pmcg.ms.gov.br/seintrha/canaisTexto?id_can=993> Acessado em: 12/10/2019.

CARVALHAES, Vinícius. **Análise do Potencial Energético de Resíduo Sólido Urbano para Conversão em Processos Termoquímicos de Gaseificação.** 2013. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Mecânicas, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

CARVALHO, M. O. M. (2006). **Software para análise econômica de sistemas energéticos.** In: RIBEIRO, B. B. *Análise Econômica de Tecnologia de Energia.* Universidade de Brasília.

CAXIETA, Dalma Maria. **Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano: o caso de Campo Grande/MS.** 2005. 86 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-Graduação em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

CENTRO CLIMA, *Small Scale Unfccc* CDM PDD - GS WWF, Usina verde, Centro Clima, Rio de Janeiro - Brazil – June, 2005

CEPEL, 2001. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro.** Ed. CEPEL, Rio de Janeiro, RJ.

CLÁUDIO HOMERO FERREIRA DA SILVA (Brasil). Gerência de Alternativas Energéticas (Org.). **Alternativas energéticas: uma visão CEMIG.** Belo Horizonte: Cemig, 2012. 362 p.

COLDEBELLA, Anderson. **Viabilidade do Uso do Biogás da Bovinocultura e Suinocultura para Geração de Energia Elétrica e Irrigação em Propriedades Rurais.** 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA N.º 003** de 28 de junho de 1990 Publicada no D.O.U, de 22/08/90, Seção I, Pág. 15.937 a 15.939. Estabelece Concentrações de Poluentes Atmosféricos

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA N.º 005** de 15 de junho de 1989, Publicada no D.O.U, de 30/08/89, Seção I, Pág. 15.048 Instituir o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas.** Coordenação de Luiz Sebastião Costa. 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia solar princípios e aplicações.** Rio de Janeiro: CRESESB, 2014. Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/energia_solar_principios_aplicacoes_2006.pdf>. Acessado em: 17/11/2019.

DANTAS, D. N. **Uso da biomassa da cana-de-açúcar para geração de energia elétrica: análise energética, exérgica e ambiental de sistemas de cogeração em sucroalcooleiras do interior paulista**. 2010. 127 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

DASKALOPOULOS, E.; BADR, O.; PROBERT, S. D., **Economic and Environmental Evaluations of Waste Treatment and Disposal Technologies for Municipal Solid Waste**, *Applied Energy*, 1997

DIJKGRAAF, E.; VOLLEBERGH, HERMAN R.J., **Burn or bury? A Social Cost Comparison of Final Waste Disposal Methods**. *Ecological Economics*, 2004, Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VDY-4DGY7GG-1/2/0e107085bdfa87ef56ce62d1671f1cce>>, Acessado em: 14/11/2020.

EPE - BEN - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional: 2018**, Relatório Final | ano base 2017. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018.pdf>

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. “Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos”**. Rio de Janeiro, 2014.

GARCIA, Camila Martins. **Transesterificação de óleos vegetais**. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Química, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

GOMES, Simone. **Potencial Energético dos Resíduos Sólidos Domiciliares do Município de Ponta Grossa, PR, Brasil**. 2014. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Bioenergia, Programa de Pós-graduação em Bioenergia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014

HAUSER, P. D.; **Criação de Valor e Desenvolvimento Sustentável: uma Avaliação da Incineração de Resíduos Sólidos Municipais em Projetos Enquadráveis no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto**, Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2006

HENRIQUES, Rachel Martins. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica**. 2004. 204 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciências em Planejamento Energético, Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

HINOSTROZA S. M. L., **Política Energética e Desenvolvimento Sustentável: Taxa sobre o Carbono para Mitigação dos Gases do Efeito Estufa no Brasil**, Campinas, S.P., 2000.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M., **Energia e Meio Ambiente**, Ed. Thomson, 2003.

HOLANDA, M. R.; **Perspectivas da Cogeração com Resíduos Sólidos Municipais sob a Ótica da Gestão Ambiental**, Tese doutorado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, 2003.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Estimativas da População. 2019.** Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-depopul?=&t=resultados>> Acessado em: 26/07/2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios Continuada.** 2018. Disponível em:

<ftp://ftp.ibge.gov.br/Trabalho_e_Rendimento/Pesquisa_Nacional_por_Amostra_de_Domicilios_continua/Renda_domiciliar_per_capita/Renda_domiciliar_per_capita_2017.pdf>

Acessado em: 01/07/2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Produto Interno Bruto dos Municípios.** 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=resultados>> Acessado em: 15/03/2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Sistema de Contas Regionais – SCR.** 2018. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/contas-nacionais/9054-contas-regionais-do-brasil.html?=&t=resultados>> Acessado em: 22/03/2020.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Pesquisa Demográfica Indicadores**, Rio de Janeiro, RJ, 2000.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, Rio de Janeiro, RJ, 1989.

IPCC, INTERNATIONAL Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Inventories, Reference Manual (Vol.3).** 1996.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos.** Brasília. 2012. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatório>>

IPSOS. **Global attitudes on materialism, finances and family.** 2013. Disponível em: <<http://www.ipsos-na.com/news-polls/pressrelease.aspx?id=6359>>. Acessado em 19/09/2015.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Lixo Municipal – Manual de Gerenciamento Integrado.** 2º. ed. São Paulo, IPT/CEMPRE, 2000.

KELLEHER, M. **Anaerobic Digestion Outlook for MSW Streams.** In: BioCycle, v. 58, p 51. [local]: [Editor], 2007.

KENJI IWAI, C., **Tratamento de Chorume através de Percolação em Solos Empregados como Material de Cobertura de Aterros para Resíduos Sólidos Urbanos**, Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da UNESP – Campus de Bauru, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial, 2005.

LEITE, Clauber Barão. **Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Aproveitamento Energético: Avaliação Econômica entre as Tecnologias de Digestão Anaeróbica e Incineração.** 2016. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências, Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

- LEME, Marcio Montagnana Vicente. **Avaliação das Opções Tecnológicas para Geração de Energia a Partir dos Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso**. 2010. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010
- LIMA, José Dantas de. **Gestão de Resíduos Sólidos no Brasil**. Disponível em Web Resol, <http://www.resolv.com.br/cartilha4>>. Acessado em: 22/01/2019.
- LUCKE, Sérgio Augusto. **O resíduo sólido urbano como fonte renovável para geração de energia elétrica: aspectos econômicos e sócio-ambientais**. 2012. 438 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.
- LUZ, Fábio Codignole. **Avaliação Técnico-Econômica de Plantas de Gaseificação do Lixo Urbano para Geração Distribuída de Eletricidade**. 2013. 255 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.
- MADEIRA, R. G., **Recuperação Energética em uma Usina Incineradora de Resíduos Sólidos Urbanos Operando em Cogeração**, UNESP, Bauru, 1889.
- MAMEDE, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2017. 2480 p.
- MAMEDE, M. C. S **Avaliação Econômica e Ambiental do Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos no Brasil**. – Campinas, SP: [s.n.], 2013. UNICAMP.
- MATO GROSSO DO SUL. Daniela Lima. Portal da Educativa - TV Educativa. **A história e a cultura mestiça que moldaram a identidade de Campo Grande**. 2017. Disponível em: <<http://www.portaldaeducativa.ms.gov.br/a-historia-e-a-cultura-mestica-que-moldaram-a-identidade-de-campo-grande/>>. Acessado em: 20/01/2019.
- MATO GROSSO DO SUL. Decreto Nº 13.606, de 25 de abril de 2013. **Dispõe sobre prorrogação de benefícios e incentivos fiscais relativos ao ICMS, concedidos a estabelecimentos industriais com base na Lei Complementar nº 93, de 5 de novembro de 2001, e na Lei nº 4.049, de 30 de junho de 2011, e dá outras providências**. Disponível em <https://ww1.imprensaoficial.ms.gov.br/pdf/DO8421_26_04_2013.pdf>. Acessado em: 12/10/2019.
- CAMPO GRANDE. PLANURB – Instituto Municipal de Planejamento Urbano. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. 2013. Disponível em <<http://www.imasul.ms.gov.br/control/ShowFile.php?id=148340>> Acessado em: 12/10/2019.
- MENEZES, R. A. A., GERLACH, J.L., e MENEZES, M.A. **Estágio Atual da Incineração no Brasil**, ABLP – Associação Brasileira de Limpeza Pública VII, Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública, 2000. Disponível em <<http://www.luftech.com.br/arquivos/art07.htm>>, Acessado em: 22/12/2019.
- MONTEIRO, J. H. P., (org.). **Manual De Gerenciamento Integrado de Resíduos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.
- MONTEZANO, Bruno Eduardo Moreira. **Estratégias para identificação de sítios eólicos promissores usando sistema de informação geográfica e algoritmos evolutivos**. 2012. 215 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Coppe, Ufrj, Rio de Janeiro, 2012.

- MORRIS, M. W. L. (1999). **Energy Recovery from solid waste fuel using advanced gasification technology**. International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Orlando, Florida/EUA, University of California.
- OLIVEIRA, Luciano Basto. **Potencial de Aproveitamento Energético de Lixo e de Biodiesel de Insumos Residuais no Brasil**. 2004. 247 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciências em Planejamento Energético, Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- OLIVEIRA, P. T. S. e PEIXOTO FILHO, G. E. C. **Levantamento da Situação Atual da Reciclagem de Materiais Plásticos no Município de Campo Grande – MS**. In: IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2007, Campo Grande. Anais. Campo Grande: ANTAC, 2007.
- OLIVEIRA, S. **Caracterização Física dos Resíduos Sólidos Domésticos (RSD) da Cidade de Botucatu, SP**. In: Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 4, n. 4. São Paulo: ABES, 1999.
- PAVAN, Margareth de Cássia Oliveira. **Geração de Energia a partir de Resíduos Sólidos Urbanos: Avaliação e Diretrizes para Tecnologias Potencialmente Aplicáveis no Brasil**. 2010. 187 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Energia, Programa de Pós-graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- PEREIRA, Lígia Cintra. **Análise de Políticas Públicas de Incentivo às Fontes de Energia Renováveis através de um Modelo Econômico do Mercado Elétrico**. 2017. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Engenharia Elétrica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017.
- POLETO, J.A.; SILVA, C.L.; “**Influência da Separação de Resíduos Sólidos Urbanos para Fins de Reciclagem no Processo de Incineração com Geração de Energia**” Artigo publicado no 8º Congresso Ibero Americano de Engenharia Mecânica, Cusco –Perú, 2007.
- REIS, L.B., **Geração de Energia Elétrica**, São Paulo, Ed. Manole, 2011, 484p.
- REIS, L.B.; FADIGAS, E.A.; CARVALHO, C.E., **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**, Ed. Manole, 2005.
- ROSADO, Lais Peixoto. **Avaliação do Ciclo de Vida de Alternativas para o Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil do Município de Limeira/SP, Brasil**. 2015. 386 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Tecnologia, Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2015.
- SANTANA, Mayco Sullivan Araujo de. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos do Futuro Aterro Sanitário Sediado no Município de Arapiraca/AL**. 2016. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.
- SANTOS, Guilherme Garcia Dias dos. **Análise e Perspectivas de Alternativas de Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos: O Caso da Incineração e da Disposição Em Aterros**. 2011. 208 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SCHNEIDER, V. E., REGO, R. de C.E., CALDART, V., **Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde**. São Paulo: CLR Balieiro, 2001.

SEDESC – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico e de Ciência e Tecnologia – **Campo Grande: Grandes oportunidades, ótimos resultados**. Disponível em www.campogrande.ms.gov.br, Acessado em: 22/05/2019.

SILVA, C. L.; DRAGHI, L. G. A.; SILVA, C. M., **Avaliação do Potencial de Geração de Eletricidade pela Combustão do Biogás a partir de Dejetos Bovinos**, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, UNESP, Bauru, 2006.

SILVA, C.L., **Aspectos Energéticos e Econômicos da incineração de resíduo de Serviço de Saúde decorrentes da segregação e resíduos na Origem**, IV Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica – CIBIM, Santiago, Chile, 1999.

SILVA, C.L., HAMADA, J., **Incineración de Resíduo de Serviço de Saúde: Análise Térmica**, XXV Congresso Internacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cidade do México, DF, México, 1996.

SILVA, C.L., **Tratamento Térmico de Resíduos**, FEB - DEM UNESP, 1998.

SILVA, C.L., VELO, E.G., **Incineración de Resíduo Serviço de Saúde Utilizando o Biogás de Aterro Sanitário**, XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM 97, Bauru, SP, 1997.

SILVA, Rosana Conceição da. **Estudo do Potencial Energético dos Resíduos Depositados no Aterro Sanitário de Macaé-RJ com o Uso da Tecnologia de Digestão Anaeróbica Acelerada**. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Ambiental, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos, Macaé, 2008.

SNIS - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Diagnóstico Anual dos Resíduos Sólidos 2017**. Disponível em: <www.snis.gov.br>. Acessado em: 10/11/2019.

STEUTEVILLE, R., **The State of Garbage in America**. BioCycle, April and May, 1995.

STRAPASSON, A. B. **A energia térmica e o paradoxo da eficiência energética: desafios para um novo modelo de planejamento energético**. 2004. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, Programa Interunidade de Pós-Graduação em Energia (IEE/EP/IF/FEA). 2004.

TCHOBANOGLIOUS, G. THEISEN, H, S., VIRGIL, S., **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Managements Issues**, McGrawHill, Inc. International Ed. 1996.

THEMELIS, N. J. **An Overview OF the Global Waste-to-Energy Industry**. In: **Waste Management World**, Jul-Aug 2003, pp. 40-47. Tulsa, OK: Pennwell Publishing, 2003.

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO - MS. **Indicadores de Resíduos Sólidos nos Municípios de MS** / Inspeção de Engenharia, Arquitetura e Meio Ambiente – IEMA. Campo Grande: TCE-MS/ESCOEX, 2016. (Série Transparência; 5).

USINAVERDE, **O Lixo e o Meio Ambiente, Panorama Internacional Gestão de Resíduos Urbanos**, 2008, Disponível em:

<<http://www.usinaverde.com.br/lixoemeioambiente.php?cod=2152313A-ACA1-D5D1-D9CF-D81528495D55>>, Acessado em: 14/09/2020,

USITRAR (Maranhão). Usitrar Eco-Energy. **Proposta Comercial Unidade de Recuperação Energética Usitrar Eco-Energy**. São Luís: Usitrar Eco-Energy, 2019. 33 p.

VERMA, S. **Anaerobic Digestion of Biodegradable Organic in Municipal Solid Wastes. Department of Earth & Environmental Engineering**. Columbia University, 2002.

VESPA, I., C., G., **Características Minerais e Energéticas do Lixo Urbano em Processos de Compostagem e Biodigestão Anaeróbia**, Unesp, 2005.

WOTTRICH, Breno. **Modelo para a Análise Econômica e Financeira em Projetos de Geração Distribuída de Energia com Fontes Alternativas**. 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

8. BIBLIOGRAFIA

- BALCAZAR, Juan Galvarino Cerda et al. **Analysis of hybrid waste-to-energy for medium-sized cities**. Energy, [S.L.], v. 55, p. 728-741, jun. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.003>.
- BRITO, Adailton Pereira de; SILVA, Celso Luiz da. **Estudo da Viabilidade Econômica da Implantação de Incineradores de “RSU” na Região de Bauru**. VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista: Saúde, Saneamento e Meio Ambiente, Brasil, v. 8, n. 12, p. 15-26, dez. 2012.
- CARMO, Vadson Bastos do. **Avaliação da Eficiência Energética Renovável de Biomassas Alternativas para Geração de Eletricidade**. 2013. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.
- CARNEIRO, Maria Luisa N.M.; GOMES, Marcos Sebastião P.. **Energy, exergy, environmental and economic analysis of hybrid waste-to-energy plants**. Energy Conversion And Management, [S.L.], v. 179, p. 397-417, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2018.10.007>.
- COSTA, Ingrid Parente Parente; ABREU, Yolanda Vieira de. **Estudo sobre a Possibilidade de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (Lixo, Esgoto)**. Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 14-25, 28 mar. 2018. Universidade Federal do Tocantins. <http://dx.doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2018vol5n1p14>.
- DÉCHAUX, Claire et al. **Development of the regionalised municipal solid waste incineration (RMWI) model and its application to France**. The International Journal Of Life Cycle Assessment, [S.L.], v. 22, n. 10, p. 1514-1542, 9 fev. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-017-1268-0>.
- ESCAMILLA-GARCÍA, Pablo Emilio et al. **Technical and economic analysis of energy generation from waste incineration in Mexico**. Energy Strategy Reviews, [S.L.], v. 31, p. 100542, set. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100542>. Acesso em: 19 dez. 2020.
- FERNANDES, Dangel Maria. **Biomassa e Biogás da Suinocultura**. 2012. 211 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.
- GRYNWALD, Sami. **Barreiras e Facilitadores para o Planejamento e Implantação de Usinas de Recuperação de Energia de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências, Departamento de Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- HAMAD, Tarek A.; AGLL, Abdulhakim A.; HAMAD, Yousif M.; SHEFFIELD, John W.. **Solid waste as renewable source of energy: current and future possibility in Libya**. Case Studies In Thermal Engineering, [S.L.], v. 4, p. 144-152, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csite.2014.09.004>.

ISLAM, K M Nazmul. **Greenhouse gas footprint and the carbon flow associated with different solid waste management strategy for urban metabolism in Bangladesh.** Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 580, p. 755-769, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.022>.

JOSÉ FERNANDO THOMÉ JUCÁ. Fundação de Apoio Ao Desenvolvimento (Fadep) (org.). **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão.** Pernambuco: Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

KLAUS, Otávia Lidia. **Potencial de Aproveitamento de Resíduos Sólidos Urbanos da Mesorregião Oeste do Paraná para Geração de Energia Elétrica.** 2014. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

KREITH, F., **“Handbook of Solid Waste Management”**, McGraw-Hill, 1994.

MACIEL, Felipe Jucá. **Geração de Biogás e Energia em Aterro Experimental de Resíduos Sólidos Urbanos.** 2009. 355 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

MAKARICHI, Luke; JUTIDAMRONGPHAN, Warangkana; TECHATO, Kua-Anan. **The evolution of waste-to-energy incineration: a review.** Renewable And Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v. 91, p. 812-821, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.088>.

MALINAUSKAITE, J. et al. **Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe.** Energy, [S.L.], v. 141, p. 2013-2044, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.128>.

MARANHO, A. S., **Potencial de Geração de Energia Elétrica a Partir de Resíduos Sólidos Urbanos para Bauru e Região,** Dissertação de Mestrado, UNESP-FEB, Bauru, 2008

MOHTARAM, Soheil; SUN, Yonghui; OMIDI, Mohammad; LIN, Ji. **Energy-exergy efficiencies analyses of a waste-to-power generation system combined with an ammonia-water dilution Rankine cycle.** Case Studies In Thermal Engineering, [S.L.], v. 25, p. 100909, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csite.2021.100909>.

MOYA, Diego; ALDÁS, Clay; LÓPEZ, Germánico; KAPARAJU, Prasad. **Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using waste-to-energy technologies.** Energy Procedia, [S.L.], v. 134, p. 286-295, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.618>.

MULLER, Luiz Neto Paiva e Silva; ARRUDA, João Bosco Furtado; HILUY FILHO, João José. **Potencial de Usinas Waste to Energy no Nordeste Brasileiro: projeção e análise comparativa de impactos na esfera ambiental e no setor energético.** Revista Produção Online, Florianópolis (Sc), v. 4, n. 18, p. 1374-1397, 2018. Trimensal.

MUTZ, D. et al. Universidade de Ciências Aplicadas do Noroeste da Suíça (Fhnw). **Opções em Waste-to-Energy na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos: um guia para tomadores de decisão em países emergentes ou em desenvolvimento.** Eschborn: Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (Giz) Gmbh, 2017. 58 p.

- NGUYEN, Hoa Huu; HEAVEN, Sonia; BANKS, Charles. **Energy potential from the anaerobic digestion of food waste in municipal solid waste stream of urban areas in Vietnam**. International Journal Of Energy And Environmental Engineering, [S.L.], v. 5, n. 4, p. 365-374, 2 ago. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40095-014-0133-1>.
- PANEPINTO, Deborah; GENON, Giuseppe. **Environmental evaluation of the electric and cogenerative configurations for the energy recovery of the Turin municipal solid waste incineration plant**. Waste Management & Research, [S.L.], v. 32, n. 7, p. 670-680, 18 jun. 2014. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x14538304>.
- PASQUINI, Nilton Cesar. **Uso Potencial como Fonte de Energia de Lodo Proveniente de Esgoto Doméstico e Industrial**. Revista Ciências Exatas e Naturais, Paraná, v. 1, n. 16, p. 35-57, jan. 2014. Semestral.
- PECORA, Vanessa. **Implementação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento do Esgoto Residencial da USP: estudo de caso**. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- RODRIGUES, Tatyane Souza Nunes. **Estudo de Viabilidade do Aproveitamento Energético do Biogás Gerado em Célula Experimental no Aterro Controlado da Muribeca – Pernambuco (PE)**. 2009. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.
- SAFFER M., DUARTE G. A. A., **Estudo do Estado da Arte e Análise de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental da Implantação de uma Usina de Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos Urbanos com Geração de Energia Elétrica no Estado de Minas Gerais**, 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- SANTOS, D. S.; **Viabilidade do Aproveitamento do Lixo Urbano da Cidade de Maceió como Alternativa Energética**; Dissertação de Mestrado; UFA; 2009.
- SCARLAT, N. et al. **Evaluation of energy potential of Municipal Solid Waste from African urban areas**. Renewable And Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v. 50, p. 1269-1286, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.067>.
- SOARES, Fabio Rubens; MIYAMARU, Emília Satoshi; MARTINS, Gilberto. **Desempenho ambiental da destinação e do tratamento de resíduos sólidos urbanos com reaproveitamento energético por meio da avaliação do ciclo de vida na Central de Tratamento de Resíduos - Caieiras**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [S.L.], v. 22, n. 5, p. 993-1003, out. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017155522>.
- SOUZA, Samuel Nm de et al. **Technical potential of electricity production from municipal solid waste disposed in the biggest cities in Brazil: landfill gas, biogas and thermal treatment**. Waste Management & Research, [S.L.], v. 32, n. 10, p. 1015-1023, out. 2014. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x14552553>.
- TABATA, Tomohiro. **Waste-to-energy incineration plants as greenhouse gas reducers: a case study of seven japanese metropolises**. Waste Management & Research, [S.L.], v. 31, n.

11, p. 1110-1117, 11 set. 2013. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x13502385>.

THITANUWAT, Bussarakam; POLPRASERT, Chongchin; ENGLANDE, Andrew J.. **Green residues from Bangkok green space for renewable energy recovery, phosphorus recycling and greenhouse gases emission reduction**. Waste Management, [S.L.], v. 61, p. 572-581, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.012>.

THITANUWAT, Bussarakam; POLPRASERT, Chongchin; ENGLANDE, Andrew J.. **Quantification of phosphorus flows throughout the consumption system of Bangkok Metropolis, Thailand**. Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 542, p. 1106-1116, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.065>.

UDOMSRI, Seksan; MARTIN, Andrew R.; MARTIN, Viktoria. **Thermally driven cooling coupled with municipal solid waste-fired power plant: application of combined heat, cooling and power in tropical urban areas**. Applied Energy, [S.L.], v. 88, n. 5, p. 1532-1542, maio 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.12.020>.

VALERIANO NETO, Andreas Madau de. **Inserção de Sistema Waste to Energy no Município de São Paulo: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável brasileiro**. 2014. 32 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Gestão Corporativa de Carbono, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

VILHENA A., **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado** -3ed. São Paulo. CEMPRE, 2010.

ZANETTE, André Luiz. **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil**. 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Planejamento Energético, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

ZHANG, Yutao; JI, Guozhao; MA, Dexiao; CHEN, Chuanshuai; WANG, Yinxiang; WANG, Weijian; LI, Aimin. **Exergy and energy analysis of pyrolysis of plastic wastes in rotary kiln with heat carrier**. Process Safety And Environmental Protection, [S.L.], v. 142, p. 203-211, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2020.06.021>.