

INSTITUTO FEDERAL
MINAS GERAIS
Campus Bambuí

MÁRCIA APARECIDA SILVA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE AMBIENTAL, TÉCNICA E ECONÔMICA
DO POTENCIAL APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS
NO ATERRO CONTROLADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE
RIBEIRÃO DAS NEVES-MG**

BAMBUÍ-MG
2018

MÁRCIA APARECIDA SILVA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE AMBIENTAL, TÉCNICA E ECONÔMICA
DO POTENCIAL APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS NO
ATERRO CONTROLADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE
RIBEIRÃO DAS NEVES-MG**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Ciências ambientais
Linha de pesquisa: Tecnologias ambientais
Orientador: Professor Hygor Aristides Victor Rossoni

**BAMBUÍ-MG
2018**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS
Avenida Professor Mário Werneck, nº. 2590, Bairro Buritis, Belo Horizonte, CEP 30575-180,
Estado de Minas Gerais



FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de Mestrado, intitulada **“ANÁLISE DA VIABILIDADE AMBIENTAL, TÉCNICA E ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS NO ATERRO CONTROLADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO DAS NEVES - MG”**, de autoria da mestrandia em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental **Márcia Aparecida Silva**, aprovada pela Banca Examinadora de Defesa, em 03/05/2018, com a média de pontuação de 92.

Título do Trabalho – houve alteração Sim () Não

Se sim, qual o título ANÁLISE DA VIABILIDADE AMBIENTAL, TÉCNICA E ECONÔMICA DO POTENCIAL DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS NO ATERRO CONTROLADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO DAS NEVES - MG.

Florestal (MG), 03 de maio de 2018.

Alpe G. Victor Rossoni

Prof. Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni – Orientador (UFV/Florestal)

Carlos Fernando Lemos
Prof. Dr. Carlos Fernando Lemos – (UFV/Florestal)

Márcia Aparecida Santana
Prof. Dr. Márcia Aparecida Santana (UFV/Florestal)

Ricardo Sousa Cavalcanti
Prof. Dr. Ricardo Sousa Cavalcanti (IFMG/Bambuú)

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do IFMG –
Campus Bambuí

S586a Silva, Márcia Aparecida.

Análise da viabilidade ambiental, técnica e econômica do potencial aproveitamento energético de biogás no aterro controlado de resíduos sólidos no município de Ribeirão das Neves–MG /Márcia Aparecida Silva. – Bambuí, 2018.

145 f.; il.; color.

Orientador: Hygor Aristides Victor Rossoni

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2018.

1. Aterro controlado. 2. Biogás. 3. Aproveitamento energético. 4. Metano. I. Rossoni, Hygor Aristides Victor.
II. Título.

CDD 628

A todas as vítimas que pereceram pela negligência, omissão e ações daqueles que poderiam ter evitado acidentes fatais mas não o fizeram.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus Pai, Filho, Espírito Santo, toda honra, glória e poder.

Ao meu pai, José Pinto Silva “Ferreirinha” *in memoriam*, por ter me ensinado a perdoar e tudo fazer pensando nas crianças. À minha mãe, Odília Costa Silva, “Vó Dica”, por ter me ensinado a importância dos vegetais, de que nem tudo na vida é escrito com palavras, mas com amor e por sempre estar ao meu lado em todos os momentos de minha vida.

Aos meus filhos, Mylla, Wyller, Mayra e Maryssa, pela compreensão da ausência, a alegria no retorno e ao pai deles, Wanderson por toda colaboração.

Aos membros da IBL, em especial do Ministério 24 horas Diante do Senhor, pelo apoio, incentivo e compreensão de minha ausência nas atividades que faço com alegria. Missão dada, missão cumprida! Aleluia.

Aos professores do MPSTA, em especial Gustavo Lacorte, Carlos Fernando Lemos, meu orientador Hygor Rossoni, pelo incentivo, apoio e suporte técnico científico.

Ao Ronaldo Reis, secretário do MPSTA, por todo profissionalismo e prontidão nos inúmeros atendimentos.

Aos representantes legais da Prefeitura Municipal de Ribeirão das Neves, por terem autorizado e facilitado a realização do estudo de caso no aterro controlado municipal.

Ao Leonardo, o Andre, à Natasha, ao Brum, pela prontidão em levantar dados importantes sobre o aterro controlado municipal.

Ao meu sempre diretor e irmão, José João Lopes Santos, por todo auxílio na minha inscrição inicial no programa do mestrado e na compreensão dos cálculos usados neste estudo.

Ao João Rosa, à Vanilde Lima e ao Marcelo Moreyra, pelo auxílio no necessário.

A todos os familiares e amigos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos *in memoriam*, Sr. Pedro Valtenir, “Pedro Sapateiro” e Silmar Alves, na pessoa dos seus familiares, por terem iniciado comigo o sonho e a luta em prol da coleta seletiva e da disposição adequada dos resíduos sólidos em nossa cidade, fonte de inspiração para este estudo.

Algo realmente é importante em nossas vidas quando se torna maior que nós mesmos.

A AUTORA

RESUMO

SILVA, Márcia Aparecida. **Análise da viabilidade ambiental, técnica e econômica do potencial aproveitamento energético de biogás no aterro controlado de resíduos sólidos no Município de Ribeirão das Neves–MG.** Bambuí. IFMG Campus Bambuí, 2018.

O presente estudo avaliou a viabilidade técnica, ambiental e econômica do potencial do aproveitamento energético do biogás no aterro controlado de resíduos sólidos de Ribeirão das Neves-MG. A sociedade desenvolve-se através de um complexo sistema de uso dos recursos naturais e geração de resíduos. A produção de resíduos sólidos urbanos apresenta grandes disparidades, variando tanto no nível dos vários países do mundo, como, dentro de cada país, de região para região onde a assimetria é evidente e requer um processo de gerenciamento com protocolos e técnicas nem sempre cumpridos. A decomposição dos resíduos confinados em aterros ou dispersos pelo ambiente emite gases relacionados às alterações atmosféricas. No presente estudo foram usadas duas metodologias para estimar a geração de biogás e gás metano, a recomendada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos e a do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, bem como foi realizada a amostragem e composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos conforme a metodologia simplificada indicada pela FEAM em 2015 e a ABNT NBR 10.007;2004. Dados estimativos apontaram uma geração energética em 0,166 MW/h, para os resíduos dispostos no ACRN, conforme metodologia da US-EPA, até o ano de 2024 e a recuperação de gás metano (t/ CH₄) é suficiente para manter em funcionamento uma microturbina. Os dados obtidos com a análise econômica apontaram o valor presente líquido de US\$792.022,96, para um período de sete anos, considerando a autogestão, comercialização de energia e certificação de redução de emissões. Uma seção do presente trabalho apresenta detalhes da situação atual da coleta seletiva realizada pela rede de catadores, sucateiros e cooperativa no ano de 2017, avaliada sob a perspectiva de Zero Waste, que determinou para Ribeirão das Neves um índice de ZWI de 0,0035, foram evitados de serem consumidos 40.955,50 litros de água; 50,5012 Gigajoule, que corresponde a 14,028 MWh de energia e houve a não emissão de 4,9 toneladas de CO₂ na atmosfera, com um montante de 9.594 kg de resíduos direcionados para reciclagem ou reutilização, em média/mês no ano de 2017. Por fim, a autora propôs o um sistema integrado de inoculação de bactérias metanogênicas, hidratação controlada, coleta de percolato e biogás, bem como uma máquina recicladora para papel e papelão. Cabe destacar a importância do incentivo à implantação de tecnologias disponíveis e adaptações no sentido de potencializar o aproveitamento energético como proposta de destinação adequada para os gases de efeito estufa.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro controlado; biogás; aproveitamento energético; metano.

ABSTRACT

SILVA, Márcia Aparecida. **Analysis of the environmental, technical and economic feasibility of the biogas of potential energy utilization in the solid waste controlled landfill in the city of Ribeirão das Neves-MG.** Bambuí. IFMG Campus Bambuí, 2018.

The present study evaluated the technical, environmental and economic feasibility of the biogas energy potential in the solid waste landfill of Ribeirão das Neves-MG. The society develops through a complex system of use of the natural resources and generation of residues. The production of municipal solid waste presents great disparities, varying both in the various countries of the world, and within each country, from region to region where the asymmetry is evident and requires a management process with protocols and techniques not always fulfilled. The decomposition of waste confined to landfills or dispersed by the environment emits gases related to atmospheric changes. In the present study, two methodologies were used to estimate biogas and methane gas generation, as recommended by the United States Environmental Protection Agency and the Intergovernmental Panel on Climate Change, as well as sampling and gravimetric composition of municipal solid waste as the simplified methodology indicates by the FEAM of 2015 and ABNT NBR 10.007; 2004. Estimated data indicated an energy generation of 0.166 MW / h for the waste disposed in the ACRN, according to the US-EPA methodology, until the year 2024 and the recovery of methane gas (t / CH₄) is enough to keep a microturbine running. The data obtained with the economic analysis showed the value of US \$ 792,022.96 of investment and maintenance of operation over seven years, considering self-management, energy trading and emission reduction certification. A section of the present paper presents details of the current situation of the selective collection carried out by the network of scavengers, scrappers and cooperatives in the year 2017, evaluated from the perspective of Zero Waste, which determined a ZWI index of 0.0035 for Ribeirão das Neves. In one month, in 2017 40,955.50 liters of water were avoided; 50.5012 Gigajoule, which corresponds to 14,028 MWh of energy and there was a non-emission of 4.9 tons of CO₂ in the atmosphere, with an amount of 9,594 kg of waste directed for recycling or reuse. Finally, the author proposed an integrated system for the inoculation of methanogenic bacteria, controlled hydration, percolated and biogas collection, as well as a recycler for paper and cardboard. It is important to emphasize the importance of encouraging the implementation of available technologies and adaptations in the sense of potentializing energy use as a suitable destination for greenhouse gases.

KEY WORDS: Controlled landfill; biogas; energy use; methane.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Destinação dos resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais no ano de 2015.....	26
Figura 2 - Número de municípios por tipologia do Território Metropolitano em 2015.....	27
Figura 3 - Cadastro de PGIRS na FEAM em 2015.....	28
Figura 4 - Fluxograma simplificado das fases do licenciamento ambiental em MG.....	29
Figura 5 - Lixão.....	35
Figura 6 - Aterro controlado.....	36
Figura 7 - Aterro sanitário.....	37
Figura 8 - Poder calorífico do biogás em kCal / m ³ conforme percentual de metano.....	41
Figura 9 - Localização do aterro sanitário da EMTR.....	48
Figura 10 - Localização do aterro controlado de Ribeirão das Neves-MG.....	49
Figura 11 - Portão de acesso do ACRN.....	50
Figura 12 - Drenos de condução de biogás usados no ACRN.....	51
Figura 13 - Vista do interior do ACRN.....	52
Figura 14 - Kane 940.....	54
Figura 15 - Registro de uso do Kane 940.....	54
Figura 16 - Regiões de atendimento de coleta domiciliar em Ribeirão das Neves.....	69
Figura 17 - Localização dos pontos de coleta das amostras.....	73
Figura 18 - Registro da disposição dos resíduos pelos munícipes.....	76
Figura 19 - Resíduos da amostra 2: bairro São Pedro.....	77
Figura 20 - Resíduos da amostra 4: Centro Industrial.....	78
Figura 21 - Resultado da amostra 1: Vila Hortinha.....	84
Figura 22 - Resultado da amostra 2: Bairro São Pedro.....	86
Figura 23 - Resultado da amostra 3: Centro Comercial.....	87
Figura 24 - Resultado da amostra 4: CIRIN Centro Industrial.....	87
Figura 25 - Recebimento do montante de RSU no ACRN.....	88
Figura 26 - Preparo para quarteamento.....	87
Figura 27 - Separação para pesagem.....	87
Figura 28 - Porcentagem da composição gravimétrica.....	88
Figura 29 - Composição gravimétrica: FEAM (2015) e NBR 10.007 (2004).....	89
Figura 30 - Localização dos pontos de mensuração dos gases no ACRN.....	91
Figura 31 - Mensuração de gases no ACRN em 22/11/2017.....	93
Figura 32 - Mensuração de gases no ACRN em 06/02/2018.....	94
Figura 33 - Geração de energia no ACRN.....	98
Figura 34 - Partes constituintes de uma microturbina.....	101
Figura 35 - Estimativa de redução das emissões de CO ₂	103
Figura 36 - Fluxograma para implantação da UGEE no ACRN.....	104
Figura 37 - Entrada da sede da COOMARRIN.....	109
Figura 38 - Registro fotográfico de sucateiros (ferros velhos) visitados.....	110
Figura 39 - ZWI de 7 cidades.....	114

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Legislação brasileira sobre meio ambiente e resíduos sólidos.....	23
Quadro 2 - Relação de normas da ABNT referentes a resíduos sólidos.....	25
Quadro 3 - Objetivos e legislação sobre logística reversa.....	34
Quadro 4 - Técnicas para identificação microbiana metanogênica.....	39
Quadro 5 - Comparação entre aterros sanitários brasileiros.....	44
Quadro 6 - Caracterização geral de Ribeirão das Neves.....	46
Quadro 7 - Possíveis fontes financiadoras de projetos em MDL.....	65
Quadro 8 - Critérios de estratificação sócio econômica segundo FEAM.....	71
Quadro 9 - Aproveitamento, aplicação e avaliação de tecnologias para uso no ACRN.....	99
Quadro 10 - Comparação entre microturbinas a gás e motores de combustão.....	100
Quadro 11 - Fornecedores e custos de microturbinas.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros percentuais de degradação de resíduos sólidos	41
Tabela 2 - Parâmetros e valores padrão do IPCC	57
Tabela 3 - Estimativa de gasto mensal de energia elétrica em kWh/mês	59
Tabela 4 - Dados dos boletins diários veiculares em 2017	70
Tabela 5 - Categorias de resíduos para compostagem	79
Tabela 6 - Categorias de resíduos para reciclagem	80
Tabela 7 - Categorias de resíduos para co-processamento	81
Tabela 8 - Categorias de resíduos para logística reversa e outros	82
Tabela 9 - Peso total recolhido para amostragem em 7 dias (kg)	83
Tabela 10 - Peso específico das amostras	83
Tabela 11 - Resultados da composição gravimétrica segundo NBR 10.007(2004)	88
Tabela 12 - Resultados das mensurações dos gases: CO ₂ , O ₂ e CH ₄ no ACRN	92
Tabela 13 - Dados para cálculos LFG m ³ / metano/ano	95
Tabela 14 - Potencial de geração do metano L ₀	96
Tabela 15 - Estimativa de geração de energia no ACRN (IPCC e US-EPA).....	97
Tabela 16 - Estimativa da redução das emissões de CO ₂	101
Tabela 17 - Investimento, custos operacionais e receitas (US\$).....	107
Tabela 18 - Avaliação de cenários.....	107
Tabela 19 - Valores e padrões de substituição para cálculos do ZWI.....	112
Tabela 20 - ZWI Ribeirão das Neves.....	113

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - LFG: emissão de metano	56
Equação 2 - DOC: fração de carbono orgânico degradável	56
Equação 3 - L_0 : potencial de geração de gás metano	57
Equação 4 - P: potência disponível	58
Equação 5 - $Q_{(CH_4)}$: metano produzido	59
Equação 6 - Zero Wate Index	67
Equação 7 - Redução emissões de GEE	67
Equação 8 - PC: percentual da categoria	78

LISTA DE ABREVIATURAS

AAF	Autorização Ambiental de Funcionamento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELP	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACRN	Aterro controlado de Ribeirão das Neves
ARC	Archaea
BDV	Boletim diário de veículo
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
COP	Conferência das Partes
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
DGGE	Desnaturing Gradient Gel Electrophoresis ou eletroforese em gel de gradiente desnaturante
DNA _r	DNA (gene) de RNA ribossomal
FEAM.....	Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais
FISH	Fluorescence In Situ Hybridization ou hibridização in situ com sonda fluorescente
GEE	Gases de efeito estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de desenvolvimento humano
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LFG	Gás de aterro
LO	Licença de Operação
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PCR	Polymerase Chain Reaction ou Reação em Cadeia da Polimerase

PRT-SSCP	Transcriptase reversa/single strand conformation polymorphism ou polimorfismo de conformação de fita única – transcriptase reversa
PIB	Produto interno bruto
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PMGIRS	Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos
PMRN.....	Prefeitura Municipal de Ribeirão das Neves
RSU	Resíduos sólidos urbanos
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket ou reator de manta de lodo de fluxo ascendente
US-EPA	United States Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

Lista de figuras	09
Lista de tabelas	10
Lista de quadros	11
Lista de equações	12
Lista de abreviaturas	13
1. Introdução	18
2. Objetivos	20
2.1 Objetivo Geral	20
2.2 Objetivos Específicos	20
3 REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1 Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos	21
3.2 Aspectos legais e institucionais	22
<i>3.2.1 Nível federal</i>	22
<i>3.2.2 Nível estadual</i>	26
<i>3.2.3 Nível municipal</i>	30
3.3 Coleta seletiva	31
<i>3.3.1 Zero waste: da utopia à necessidade</i>	32
3.4 Consórcios públicos no gerenciamento e disposição de RS	34
3.5 Logística reversa	34
3.6 Disposição final de RSU	35
<i>3.6.1 A céu aberto: lixão</i>	35
<i>3.6.2 Aterro controlado</i>	35
<i>3.6.2.1 Recuperação de lixões e aterros controlados</i>	36
<i>3.6.3 Aterro sanitário</i>	37
3.7 Aproveitamento energético de gases de aterros de RSU	38
3.8 Ação microbiana na decomposição de resíduos e de geração de gases	38
3.9 Fatores que influenciam a geração de biogás	40
3.10 Potencial calorífico do biogás	41
3.11 Redução na emissão de gases de efeito estufa e créditos de carbono	42
3.12 Mecanismo de desenvolvimento limpo no Brasil	43
3.13 Comparação do aproveitamento energético entre 3 aterros brasileiros	43
4 MATERIAIS E MÉTODOS	45
4.1 Estudo de caso: aterro controlado de Ribeirão das Neves-MG	45
<i>4.1.1 Histórico municipal</i>	45
<i>4.1.2 Resíduos sólidos urbanos em Neves</i>	46
<i>4.1.3 Caracterização do ACRN</i>	48
4.2 Composição gravimétrica dos RSU e geração de biogás	52
4.3 Mensuração da emissão de biogás	53
4.4 Estimativa de geração de biogás, metano e energia em aterros de RSU	56

4.4.1 Modelo IPCC	56
4.4.2 Modelo US-EPA	59
4.5 Viabilidade ambiental do aproveitamento energético do biogás	60
4.6 Aproveitamento energético do biogás no ACRN	60
4.6.1 Impactos ambientais e medidas mitigadoras	61
4.7 Viabilidade econômica	63
4.7.1 Cenário econômico atual do mercado de crédito de carbono	63
4.7.2 Financiamento de projetos em MDL no Brasil e no exterior	65
4.7.3 Investimento econômico no ACRN: cenários e perspectivas	66
4.7.4 Comercialização de energia elétrica em Minas Gerais	66
4.7.5 Determinação do ZWI	67
4.7.6 Determinação da estimativa da redução de emissão de GEE's	67
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
5.1 Gerenciamento de resíduos sólidos em Ribeirão das Neves	68
5.2 Amostragem de resíduos sólidos conforme FEAM(2015)	71
5.3 Amostragem de resíduos sólidos conforme ABNT NBR 10.007:2004	86
5.4 Comparação dos resultados das amostragens	89
5.5 Resultados da mensuração de CO ₂ , O ₂ e CH ₄ no ACRN	90
5.6 Estimativa da emissão de gás metano – LFG (m ³ CH ₄ /ano)	94
5.7 Estimativa do potencial de geração de metano – L _O	96
5.8 Tecnologias usadas para aproveitamento energético do biogás	98
5.8.1 Microturbinas	100
5.9 Estimativa da redução de emissão de GEE no ACRN	102
5.10 Estrutura geral do projeto de aproveitamento energético no ACRN.....	103
5.10.1 Sistema de coleta inicial de biogás e percolado	105
5.11 Avaliação econômica para implantar a UGEE no ACRN	106
5.12 Possíveis barreiras à implantação da UGEE no ACRN	108
5.13 A coleta seletiva em Ribeirão das Neves: avaliação e ampliação	108
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
7. Referências bibliográficas	117
Apêndice A - Solicitação de autorização da PMRN	122
Apêndice B - Ofício de autorização da PMRN	123
Apêndice C - DOC _t	124
Apêndice D – Estimativa conforme modelo US-EPA	125
Apêndice E – População, RSU e geração de biogás (IPCC e US-EPA)	126
Apêndice F – Planta UGEE	127
Apêndice G – Cronograma de implantação da UGEE no ACRN	128
Apêndice H – Boletim diário veicular	129
Apêndice I - Patente dreno	130
Apêndice J – Patente recicladora	131
Apêndice K – Relação de sucateiros (ferros-velhos)	132
Anexo A – Registro Histórico	133
Anexo B – Lei Municipal N° 3106/2008.....	136
Anexo C – Descrição do Aparelho Kane 940	137

Anexo D – Informe Técnico PROINFA	140
Anexo E – Circular CEMIG	142
Anexo F – Informe Técnico Brasmetano	144
Anexo G – Recuperação de gás metano e geração de energia elétrica	145

1 INTRODUÇÃO

Para Santos (2006) há um consenso mundial sobre a necessidade de promover o desenvolvimento em bases sustentáveis, o que provoca no poder público e iniciativa privada uma urgência de reavaliar sua matriz energética e propor fontes alternativas com menor impacto para o ambiente.

De acordo com Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2016), os municípios brasileiros enviaram para os aterros sanitários - 41.678.985 toneladas (58,4%); para aterros controlados - 17.269.975 toneladas (24,2%) e para os lixões 12.391.020 toneladas (17,4%) de resíduos sólidos urbanos (RSU), perfazendo um total de 71,3 milhões de toneladas, com um índice de cobertura de coleta de 91% para o país no ano de 2016.

Cabe ressaltar que, a não destinação de resíduos orgânicos para a compostagem, facilita sua destinação para os aterros sanitários ou controlados, ou ainda são enviados para lixões e segundo Cunha (2011), tal fato contribui para formação de grandes quantidades de biogás, entre eles o metano. Atualmente boa parte dos gases é queimada ou lançada diretamente na atmosfera sem qualquer tipo de aproveitamento energético.

Segundo Akatsu e Lima (1991), a célula de aterro assume o comportamento de um biodigestor ou reator biológico e o processo de decomposição dos RSU gera gases, como citado em FEAM (2016) resultado da decomposição anaeróbica da fração orgânica biodegradável dos resíduos dispostos em aterros sanitários, controlados ou lixões.

Santos, Teixeira e Kniess (2014) descrevem em seu trabalho que a mensuração de geração de biogás e de metano pode ser estimada por modelos matemáticos, por ensaios de determinação do Potencial Bioquímico de Metano (BMP) e apontam que a carência de dados locais limita a utilização dos modelos matemáticos para os aterros brasileiros.

Por outro lado, de acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2001), tanto o dióxido de carbono (CO_2) quanto o gás metano (CH_4), são constituintes dos gases de efeito estufa (GEE).

O efeito estufa é um processo natural observado no Planeta Terra que possibilita o equilíbrio da temperatura nos diversos ecossistemas. Entretanto, a ação antrópica é apontada como promotora de contínua elevação da temperatura global com a elevada emissão dos GEE's, o que provoca, segundo o IPCC (2001), situações de alterações climáticas, com graves consequências, tais como a intensificação dos desastres naturais e interferência nos ciclos biológicos dos seres vivos.

O dimensionamento do potencial energético confinado nos aterros sanitários e controlados possui estreita relação com a temática ambiental, econômica e social. Neste sentido, cabe destacar que o aterro controlado do Município de Ribeirão das Neves (ACRN) está em operação há mais de 10 anos, sem atender plenamente o que determina a legislação e orientações técnicas sobre a disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU), ocorre a dispersão direta de gases na atmosfera e percolado no solo e cursos d'água. Não existe, atualmente, a utilização do biogás proveniente da decomposição dos RSU o que justificou o presente estudo de análise da viabilidade do aproveitamento energético de biogás no ACRN.

Para tanto, foi necessário realizar um profundo estudo sobre o potencial energético disponível no Aterro Controlado de Ribeirão das Neves (ACRN), determinar qual a tecnologia viável para conversão energética do biogás, e propor as adaptações necessárias nas tecnologias descritas que se aplicam no caso, bem como foi avaliada a situação atual e perspectivas da coleta seletiva no âmbito municipal.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a existência de viabilidade técnica, ambiental e econômica da implantação de um sistema para captação e aproveitamento energético de biogás no Aterro Controlado de Ribeirão das Neves – Minas Gerais.

2.2 Objetivos específicos

Para que o principal objetivo deste estudo fosse alcançado, tornou-se necessário o cumprimento dos seguintes objetivos específicos:

- (A) Avaliar a situação atual da disposição dos RSU e coleta seletiva no Município de Ribeirão das Neves.
- (B) Descrever os desafios atuais e as perspectivas da coleta seletiva em Ribeirão das Neves.
- (C) Estimar a emissão de biogás no ACRN.
- (D) Avaliar as tecnologias disponíveis para aproveitamento energético que possam ser usadas no ACRN.
- (E) Apresentar adaptações necessárias para a aplicação de tecnologias para o aproveitamento energético do biogás em aterros controlados.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos

O manejo dos resíduos sólidos urbanos (RSU) depende de vários fatores, os quais devem ser ressaltados: a forma de geração, acondicionamento na fonte geradora, coleta, transporte, processamento, recuperação e disposição final.

Conforme a Associação Brasileira de Norma Brasileira ABNT NBR 10.004:2004, resíduos são definidos como aqueles:

resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos que resultam da atividade da comunidade, de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se também, resíduo sólido 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 tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT NBR 10.2004:2004)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas através da ABNT NBR 10.004:2004 define o lixo como restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis, podendo-se apresentar no estado sólido, semisólido ou líquido, desde que não seja passível de tratamento convencional.

A classificação de resíduos sólidos (RS) envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. Segundo a ABNT NBR 10.004:2004 os resíduos são classificados quanto à periculosidade em: resíduos classe I - perigosos; resíduos classe II – não perigosos, a – não inertes e b – inertes.

Em relação à origem os resíduos são classificados conforme à Lei Nº 12.305/2010, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS/Brasil, 2010) em:

- a) Resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) Resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) Resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas *a* e *b*;
- d) Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas *b*, *e*, *g*, *h* e *j*;
- e) Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea *c*;
- f) Resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) Resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos

órgãos do Sistema Nacional do Meio ambiente (SISNAMA) e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS);

h) Resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;

i) Resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

j) Resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

e k) Resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios. (Brasil, 2010)

O presente estudo trata especificamente dos resíduos sólidos urbanos dispostos no aterro controlado do Município de Ribeirão das Neves proveniente da coleta domiciliar.

Ao buscar atender tecnicamente a disposição dos RSU, governo e sociedade em geral, estabelecem uma ponte entre a recuperação e a justiça ambiental. Portanto, deve-se criar um sistema que possibilite a construção de dispositivos capazes de propiciar a segurança sanitária às comunidades, contra os efeitos adversos da disposição inadequada dos RSU, bem como extrair dos resíduos todo o seu potencial de atender às demandas das atividades humanas, em todas as fases de sua constituição, seja pela apropriação de suas características finalísticas ou mesmo no momento de sua decomposição, pelo aproveitamento da energia neles contida.

3.2 Aspectos legais e institucionais

3.2.1 *Nível federal*

A interferência humana no ambiente natural é um processo histórico da sociedade e tem intensificando o debate sobre medidas protetivas e reguladoras sobre tais questões, seja por suas peculiaridades, ou sentido de precaução e manutenção da vida no Planeta que, conforme Matias e Mattlei (2014), a proteção ao meio ambiente assume grande relevância na sociedade contemporânea.

No Brasil, em 1965, houve a primeira menção sobre a questão ambiental, com a aprovação do Código Florestal. Na Constituição Federal de 1988, foi destinado um capítulo específico para o meio ambiente.

No Quadro 1, encontra-se a descrição histórica dos principais aspectos legais e institucionais sobre meio ambiente no Brasil sobre meio ambiente e resíduos sólidos (RS).

Quadro 1 - Legislação brasileira sobre meio ambiente e RS

ANO	ATO HISTÓRICO	MENÇÃO AO MEIO AMBIENTE/RS
-----	---------------	----------------------------

1824	Carta Imperial	Não
1891	Carta República Velha	Não
1930	Carta da Revolução	Não
1934	Código das águas	Sim
1937	Estado Novo	Não
1946	Redemocratização	Não
1965	Código Florestal	Sim
1967	Ditadura	Não
1969	Emenda 1-69	Não
1979	Portaria 53 Ministério do Interior	Estabelece normas aos projetos de tratamento e disposição final de RS
1981	Lei 6938 de 21/08/1981 (Política Nacional de Meio Ambiente)	Sim (abrangência integral)
1988	Constituição Federal (Art. 225)	Sim (abrangência integral)
1993	Resolução Conama nº 005, de 31/03/1993	Dispõe sobre o tratamento de resíduos gerados em estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários
1997	Lei ordinária 787	Dispõe sobre o Programa de Prevenção de Contaminação por Resíduos Tóxicos, a ser promovido por empresas fabricantes de lâmpadas fluorescentes, de vapor de mercúrio, vapor de sódio e luz mista e dá outras providências
1997	Resolução Conama nº 237	Estabelece norma geral sobre licenciamento ambiental, competências, listas de atividades sujeitas a licenciamento
1999	Lei n. 9.795	Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências.
1999	Resolução Conama nº 257	Define critérios de gerenciamento para destinação final ambientalmente adequada de pilhas e baterias, conforme específica
2000	Lei n. 10.165	Altera a Lei n. 6.938
2001	Resolução CONAMA n. 275	Estabelece o código de cores para diferentes resíduos na coleta seletiva.
2001	Resolução Conama nº 283	Dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde. Esta resolução visa aprimorar, atualizar e complementar os procedimentos contidos na Resolução Conama nº 05/93 e estender as exigências às demais atividades que geram resíduos de serviços de saúde
2002	Resolução CONAMA n. 307	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.
2003	Lei n. 10.650	Dispõe sobre o acesso público aos dados e informações existentes nos órgãos e entidades integrantes do Sisnama.
2007	Lei Federal 11.445/2007	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, com a inserção do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos
2008	Resolução CONAMA n. 404	Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.
2010	Lei n. 12.305	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605.
2010	Decreto n. 7.404	Regulamenta a Lei n. 12.305.
2012	Resolução CONAMA n. 448	Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Fonte: BRASIL (2017)

A Lei Federal nº 6.938, de 31/8/81, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, institui a sistemática de Avaliação de Impacto Ambiental para atividades modificadoras ou potencialmente modificadoras da qualidade ambiental, com a criação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA).

O Artigo 225 da CF, enfoca a recepção da tendência global de ancorar a proteção ambiental em nível constitucional, apresenta os princípios de prevenção, precaução, poluidor-pagador, responsabilidade, gestão democrática e limite de ações, conforme Brasil (1988).

Através da legislação vigente o meio ambiente é reconhecido como direito constitucional, mas com dispositivos extensos e abrangentes, tem características de legislação concorrente e possui um efeito cascata, partindo do nível federal até chegar ao cidadão, aponta diretrizes nacionais e os municípios possuem autonomia restrita. Para Matias e Mattlei (2014) a legislação ambiental, condensa diversos setores e segmentos da cadeia produtiva, por níveis de ações e não pelas especificidades dos mesmos.

A Lei de Crimes Ambientais, nº 9.605 de fevereiro de 1998, dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências. Em seu artigo 54, parágrafo 2º, inciso V, penaliza o lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos. No parágrafo 3º do mesmo artigo, a lei penaliza quem deixar de adotar, quando assim o exigir a autoridade competente, medidas de precaução em caso de risco de dano ambiental grave ou irreparável.

A PNRS instituída em agosto de 2010 pela Lei Federal 12.305, reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes, a serem adotadas com vistas à gestão integrada dos RSU.

A PNRS apresenta as definições de gerenciamento de resíduos sólidos como sendo o conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

Atualmente, no Brasil, a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) é principal marco regulatório sobre a questão climática. Ela foi instituída em 2009 por meio da Lei 12.187/2009 e oficializa o compromisso voluntário do Brasil junto à United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), ou Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, na Conferência das Partes (COP), realizada em 2009, em Copenhague. A PNMC visa à redução das emissões antrópicas de GEE em um nível entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas para 2020, além do estímulo ao desenvolvimento do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE).

Da normalização técnica da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), citam-se abaixo algumas das mais específicas ao tema de RS e a síntese de sua descrição, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Relação de normas da ABNT referente aos RS

NBR/ANO	DESCRIÇÃO
8.418-12/1983	Regulamenta a apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos
8.849-04/1985	Regulamenta a apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos
10.004-01/1987	Esta Norma classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente
10.007-09/1987	Versa sobre a amostragem de resíduos
10.157-12/1987	Regulamenta aterros de resíduos perigosos- Critérios para projeto, construção e operação; Fixa as condições mínimas exigíveis para projeto e operação de aterros de resíduos perigosos, de forma a proteger adequadamente as coleções hídricas superficiais e subterrâneas próximas, bem como os operadores destas instalações.
11.175-07/1990	Regulamenta a incineração de resíduos perigosos e estabelece padrões de desempenho
12.807-01/1993	Dispõe sobre resíduos de serviços de saúde
12.808-01/1993	Dispõe sobre os resíduos de serviços de saúde
12.809-02/1993	Dispõe sobre o manuseio de resíduos de serviço de saúde
12.980-08/1993	Dispõe sobre coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos
13.463-09/1995	Dispõe sobre a coleta de resíduos sólidos
13.591-03/1996	Regulamentação da Compostagem
13.894-06/1997	Dispõe sobre o tratamento no solo e seus devidos procedimentos
13.896-06/1997	Regulamenta aterros de resíduos não perigosos fixando as condições mínimas exigíveis para o projeto, implementação e operação de resíduos não perigosos
14.879-08/2002	Dispõe sobre Coletor-Compactador de resíduos sólidos e devida definição do volume
14.599-06/2003	Dispõe sobre os requisitos de segurança para coletores-compactadores de carregamento traseiro e lateral

Fonte: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017)

Cabe destacar a ausência de uma legislação brasileira específica sobre assuntos relacionados ao processamento do biogás proveniente de aterros de resíduos sólidos urbanos nem tão pouco uma legislação que trata da propriedade da captação, geração e comercialização de energia proveniente dos aterros de RS.

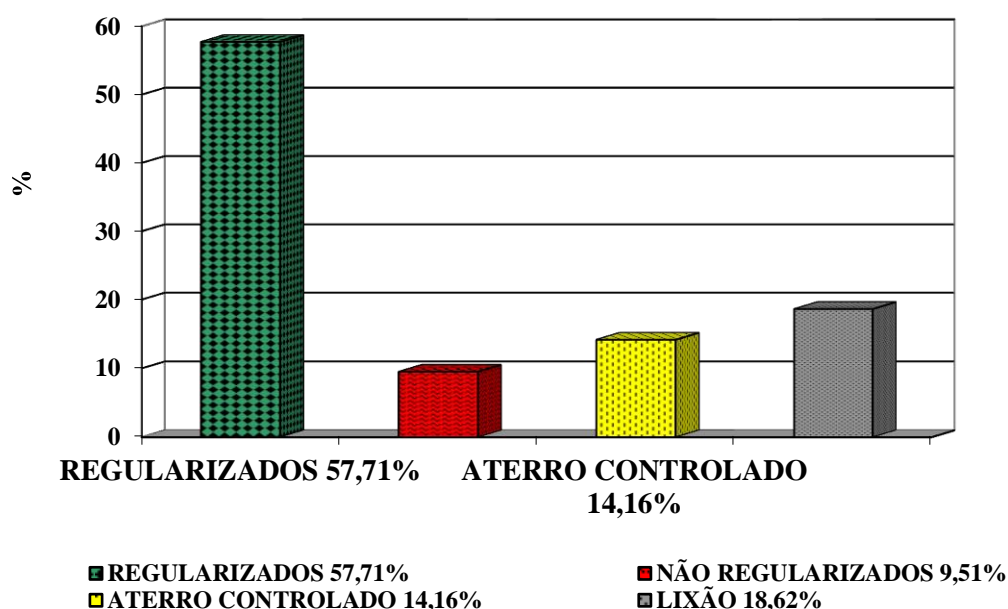
Em se tratando de legislação específica sobre biogás o Sistema de Organização Internacional para Padronização de Técnicas (ISO) aprovou a ISO 50001, sobre a gestão de energia, suas utilidades e a ISO-TC 255, sobre produção, condicionamento, processos e utilização de biogás. No Brasil, a Associação Brasileira de Normatização Técnica, ABNT, aprovou a NBR 16.560:2017, que dispõe sobre a necessidade de determinação de siloxanos e biometano proveniente de biogás de aterros, percolados e tratamento de esgotos.

3.2.2 Nível estadual

No Estado de Minas Gerais compete ao órgão ambiental fiscalizar as atividades e verificar a operação das unidades de tratamento e/ou disposição final de RSU e outras atividades, conforme estabelecido pela Lei Estadual nº 21.972 de 21 de janeiro de 2016 dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Em janeiro de 2009 foi aprovada a Lei Estadual nº 18.031 trata da Política Estadual dos Resíduos Sólidos (PERS). Conforme FEAM (2016), ainda segundo FEAM (2016) os municípios que possuem unidades passíveis de regularização ambiental Aterros Sanitários (AS) e as Usinas de Triagem e Compostagem (UTC's) foram classificados em 'regularizados', os já licenciados e 'não regularizados', em processo de licenciamento. Aqueles que possuem unidades não passíveis de regularização ambiental (Aterros Controlados e Lixões) foram classificados como 'Irregulares' o que pode ser verificado na Figura 1.

Figura 1 - Destinação dos resíduos sólidos urbanos de Minas Gerais em 2015

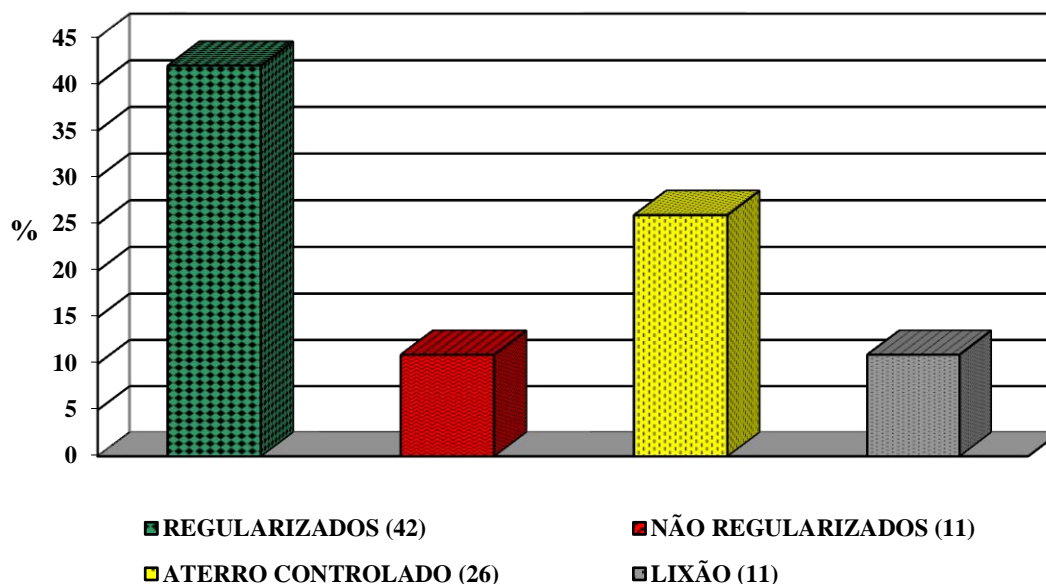


Ressalta-se a importância de avaliar a destinação de RSU em distribuição geográfica pois a geração em uma fonte pode provocar impactos diretos e indiretos sobre determinada região.

Segundo FEAM (2016), os Municípios do Estado de Minas Gerais foram reorganizados em regionais, a regional do Território de Desenvolvimento Metropolitano é

formado por 90 municípios, e em relação à disposição de RSU: 42 são regularizados, 11 não regularizados, 11 lixões e 26 aterros controlados, conforme organizado na Figura 2.

Figura 2 - Número de municípios por Tipologia no Território Metropolitano em 2015



Fonte: FEAM (2016)

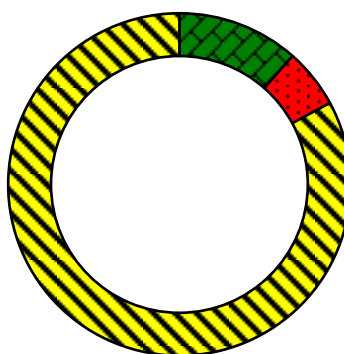
Segundo FEAM (2016):

O Território de Desenvolvimento Metropolitano é formado por 90 municípios e possui uma população urbana de 5.625.678 habitantes, considerando dados do Censo IBGE 2010. É o território que possui a maior população urbana do Estado (FEAM, 2016, p. 35).

Dentre os instrumentos previstos na Política Nacional de Resíduos Sólidos, está o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) a ser elaborado e revisado periodicamente pelos municípios. Segundo FEAM (2016), o Estado de Minas Gerais, por meio da DN COPAM 170/2011, ordenou o cadastro dos PGIRS pelos municípios no órgão estadual, responsável pela fiscalização.

Na Figura 3, foi disposta a porcentagem de municípios no Estado de Minas Gerais em relação à apresentação do PGIRS junto ao órgão ambiental.

Figura 3 - Cadastro de PGIRS na FEAM em 2015



- Municípios com cadastro efetivado (11,50%)
- Municípios com pendências no cadastro (5,60%)
- Municípios sem cadastro (82,90%)

Fonte: FEAM (2016)

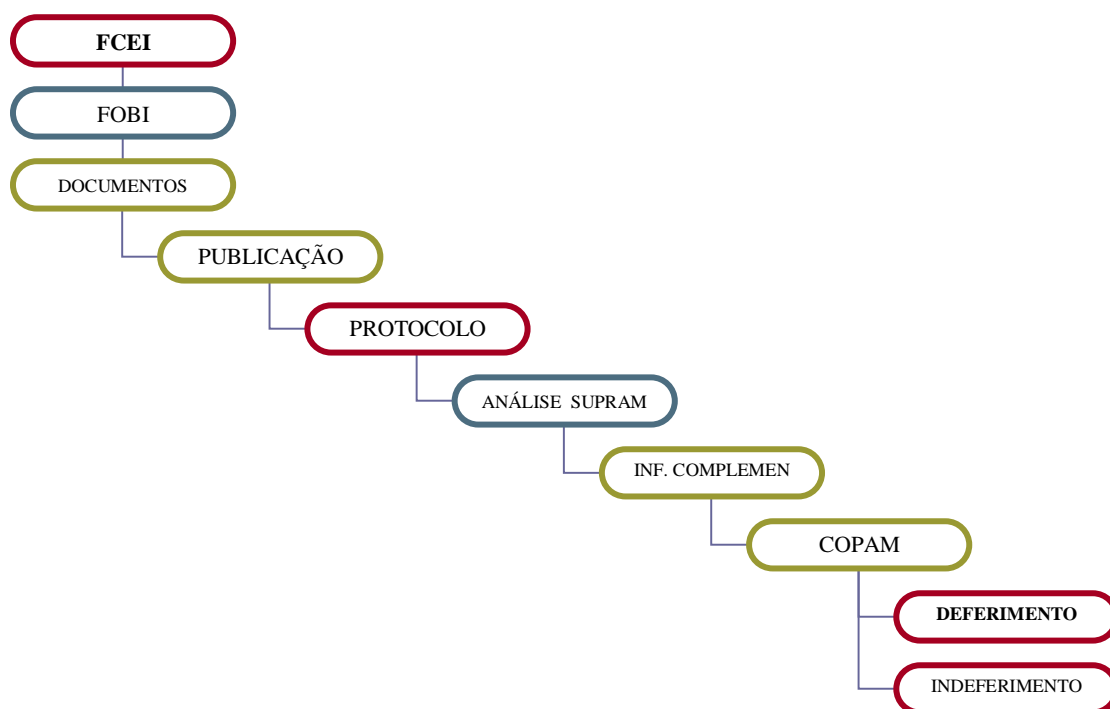
Uma situação deve ser destacada, o não atendimento à DN COPAM 170 de 2011, onde 82,90% dos municípios não formalizaram o registro de suas atividades correlatas ao gerenciamento dos RSU até 2015, o que impede uma gestão eficiente e o dimensionamento de ações necessárias ao setor.

Cabe ressaltar a aprovação da Lei Estadual N° 21.972 de 21 de janeiro de 2016 que dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos e em seu Capítulo II trata do licenciamento ambiental, que pode ser em uma de três modalidades:

Art. 16 – A construção, a instalação, a ampliação e o funcionamento de atividades e empreendimentos utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento ambiental. Parágrafo único – Considera-se licenciamento ambiental o procedimento administrativo destinado a licenciar atividades ou empreendimentos utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental. Art. 17 – Constituem modalidades de licenciamento ambiental: I – Licenciamento Ambiental Trifásico; II – Licenciamento Ambiental Concomitante; III – Licenciamento Ambiental Simplificado. (FEAM, 2018)

Os procedimentos para efetivar o licenciamento ambiental, conforme as orientações de FEAM (2018) encontram-se resumidas na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma simplificado das fases do licenciamento ambiental em MG



* FCEI – Formulário de Caracterização do Empreendimento Integrado

**FOBI – Formulário de Orientação Básica Integrado

***COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais

Fonte: FEAM (2018)

Conforme legislação atual, aterro controlado não é passível de licenciamento, entretanto, não existe legislação impeditiva para que sejam realizados estudos, projetos e programas com o objetivo de captação e aproveitamento energético e estes devem seguir os protocolos de licenciamento ambiental nos órgãos competentes, conforme as características específicas para cada empreendimento. Bem como, o próprio órgão ambiental estadual orienta ações necessárias para remediação, minimização de impactos ambientais e recuperação de áreas que foram destinadas a uso de lixões ou aterros controlados.

3.2.3 *Nível municipal*

Em Ribeirão das Neves, a Lei Municipal 3.291 de 20/04/2010, dispõe sobre a Política de proteção, conservação e controle do meio ambiente; o Decreto 71/2011, dispõe sobre o Conselho Municipal de Meio Ambiente; o Decreto 99/2017 dispões sobre a Estrutura organizacional da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e a Lei Ordinária 3.859/2018 institui o Fundo de Municipal de Meio Ambiente.

O Plano Diretor de Ribeirão das Neves de 10/10/2006, foi elaborado com a participação da população local, tem por objetivo geral direcionar o gerenciamento de RSU, conforme a Prefeitura Municipal de Ribeirão das Neves (PMRN). Segundo, PMRN (2012):

No capítulo IV das Diretrizes de Saneamento Ambiental, Art.21º, parágrafo XII: “ampliar e fortalecer o projeto de coleta seletiva do lixo, consolidando ações integradas de limpeza pública, reciclagem e geração de oportunidades de trabalho e renda”, aprovado pela Lei complementar 36/2006. (PMRN, 2012, p. 78)

Dados são apresentados no Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS) sobre a gestão dos resíduos, coleta seletiva, bem como para o saneamento e esgotamento sanitário. O PMGIRS, foi elaborado por uma empresa contratada, a NMC Projetos e Consultorias LTDA, com financiamento obtido pelo Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais (BDMG) e recursos da PMRN. O contrato foi o 045/2014, com início em 14/05/2014 e conclusão em 15/05/2015. O termo de referência previa uma parte analítica e uma fase com um plano de mobilização social, para publicidade e participação da população local. É apontado no PMGIRS (2015):

Tem como objetivo principal nortear o aperfeiçoamento do sistema de limpeza pública e manejo de resíduos sólidos no município com foco no desenvolvimento sustentável e na proteção do meio ambiente. Deste modo, estabelece diretrizes específicas e de modernização tecnológica com inclusão socioeconômica, baseados nas perspectivas e diretrizes técnicas. (PMGIRS, 2015, p. 79).

Um dos desafios que a gestão pública enfrenta é a descontinuidade de programas e projetos em desenvolvimento no âmbito municipal a cada troca da equipe administrativa conforme o processo eleitoral que ocorre a cada quatro anos nas esferas do poder executivo. Geralmente a disputa pelo poder local impõe descontinuidade em longo prazo pela correlação de força, em detrimento aos direitos difusos e coletivos. O planejamento e execução do gerenciamento de RSU ora recebe incentivos e apoio, ora fica relegado ao descaso e desarticulação, com sérios danos à política ambiental.

3.3 Coleta seletiva

Para Mancini (2007), uma das principais estratégias para a redução da quantidade de resíduos dispostos nos aterros sanitários é a criação de sistemas de coleta seletiva. A avaliação do desempenho da coleta seletiva no Brasil, também apresenta importantes desafios.

A coleta seletiva é um termo utilizado para recolhimento de materiais recicláveis, tais como papéis, plásticos, vidros, metais e orgânicos, previamente separados na fonte geradora Vilhena (2000). A coleta seletiva é a metodologia inicial para a realização de ações de compostagem, reciclagem, reutilização, redução, logística reversa e co-processamento de forma a contemplar o atendimento às orientações técnicas de cada setor.

Há diversas maneiras de realizar a coleta seletiva, com destaque para quatro modalidades: porta a porta (domiciliar), postos de entrega voluntária (PEV), em postos de troca e por catadores. A coleta seletiva "porta a porta" é semelhante ao sistema de coleta normal, sendo que o primeiro recolhe apenas o lixo seco (papel, plástico, vidro e metal) e o segundo o lixo domiciliar (resíduos alimentícios e de banheiro). Os dias de recolhimento devem ser distintos para minimizar o fluxo de caminhões nas ruas das cidades. Vale destacar que todo sistema de coleta seletiva que utiliza o sistema em questão, deve contemplar uma usina de triagem.

Conforme o PMGIRS (2015) a coleta seletiva é feita com catadores e possui uma íntima ligação entre o quadro social, apresenta uma metodologia de mobilização através de ações pontuais e de baixo impacto operacional realizadas pela PMRN e parcerias específicas. O município possui uma cooperativa de coleta seletiva, fundada em 2005, a Cooperativa de Materiais Recicláveis de Ribeirão das Neves (COOMARRIN); um número não dimensionado de catadores isolados e sucateiros que recebem materiais diversos realizam a separação e revenda para outros do ramo nos municípios próximos como Belo Horizonte e Contagem.

Cabe destacar sobre a necessidade de organização e incentivo à ação de catadores, sucateiros e cooperativas, assim como aponta Magera (2003), apud Medeiros e Macedo, (2006).

Ainda que a catação seja uma atividade de vendedor ambulante, realizada informalmente, a partir da década de 1980, os catadores começaram a constituir cooperativas ou associações, na busca pelo reconhecimento dessa atividade como profissão. Nos anos 1990, com o apoio de instituições não governamentais, foram promovidos encontros e reuniões em vários locais do país com essa finalidade. Novos parceiros foram incorporados, e o ano

de 2001 culminou com a realização do “1º Congresso Nacional de Catadores de Materiais Recicláveis e a 1ª Marcha da População de Rua” (MAGERA, 2003, p.105, *apud* MEDEIROS e MACEDO, 2006, p. 65).

É necessário frisar que as diretrizes para melhoria da coleta seletiva, estudos para implantação de uma usina de triagem, incentivo à rede de catadores, organização de cooperativas existentes e implantação de novas, são importantes para que ocorra uma importante redução do volume dos RSU a serem destinados para disposição final em aterros sanitários, controlados ou até mesmo lixões ainda existentes.

A implantação de projetos de coleta seletiva legal e tecnicamente instruídos favorece ao aumento da vida útil do aterro sanitário e conseqüentemente reduzirá custos com operacionalização quantitativa dos RSU nos municípios. Cabe destacar a possibilidade de geração de renda e formalização da rede de catadores e sucateiros locais.

3.3.1 Zero waste: da utopia à necessidade

O termo “*Zero Waste*” pode ser traduzido como desperdício zero ou resíduo zero. Esta denominação é utilizada para designar estratégias e práticas voltadas para o desenvolvimento de ciclos produtivos semelhantes aos naturais, onde cada recurso é utilizado e reaproveitado, não havendo produção de resíduos, conforme Zaman e Lehmann (2013).

São ferramentas do *Zero Waste*, a não geração, a redução, o reaproveitamento e a reciclagem dos materiais, segundo Sharholy (2007).

O conceito de *Zero Waste*, que significa zerar a produção de resíduos, é uma situação praticamente impossível de se alcançar, especialmente nos países em desenvolvimento.

Entretanto, o que é proposto por este conceito, na verdade, é que os mecanismos de manejo dos resíduos sólidos sejam aprimorados, com o intuito de diminuir a geração, de otimizar os tratamentos e de reduzir os impactos ambientais causados pela geração de resíduos, levando-se em consideração a uso mínimo de recursos naturais e destinação eficiente dos RS.

Zaman e Lehmann (2013), determinaram o índice do Zero Waste Index (ZWI) para a análise comparativa das estimativas geradas com dados de coleta seletiva e destinação dos RSU para cada sistema de gestão empregado pelas cidades e regiões avaliadas, além de

possibilitar uma visão sistêmica sobre as diversas formas de gestão dos RS, esta metodologia aponta a eficiência dos aspectos técnicos da disposição final adequada somente de resíduos sem possibilidade de outro tipo de tratamento. Entretanto, cabe ressaltar que o ZWI foca exclusivamente no aspecto ambiental, não sendo aconselhado como única metodologia de avaliação da gestão dos resíduos sólidos, que necessariamente considera a esfera econômica, social e implicações políticas.

3.4 Consórcios públicos no gerenciamento e disposição dos RSU

De acordo com o Decreto Federal nº 6.017/2007, que regulamenta a Lei Federal nº 11.107/2005, o consórcio público é a forma jurídica que pode ser constituída por entes federativos para estabelecer relações de cooperação, inclusive a realização de objetivos de interesse comum, constituída como associação pública, com personalidade jurídica de direito público, natureza autárquica e de direito privado.

Os consórcios públicos são instrumentos formais de cooperação entre entes federativos para a solução de problemas de interesse coletivo, mediante ações conjuntas entre os consorciados. Tornar-se membro de um consórcio público permite aos entes federativos, em especial aos municípios, buscar soluções conjuntas para problemas que ultrapassam as fronteiras geográficas, visando racionalizar o modelo de gestão e otimizar os recursos necessários, mediante um planejamento integrado.

O Estado de Minas Gerais regulamentou o consórcio em parcerias público-privadas, entre municípios e misto para o gerenciamento, em todas as etapas, dos RS. Conforme FEAM (2017), a Lei Estadual Nº 18.031 de 12/01/2009, aponta o consorciamento como uma forma de se fazer a GIRSU, assim como a DN 118/2008, versa sobre o tema. Para a formalização do consórcio, os prefeitos têm o suporte da Secretaria Estadual de Desenvolvimento Regional e Política Urbana (SEDRU).

Ainda no Estado de Minas Gerais, FEAM (2017) preconiza os Arranjos Territoriais Ótimos (ATO's), como uma proposta do Governo de Estado de Minas Gerais por meio do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA) para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos, similar à legislação dos consórcios. O ATO é formado a partir de critérios técnicos, é uma referência feita com base nos dados ambientais, socioeconômicos, de transporte e logística de resíduos sólidos.

3.5 Logística reversa

A logística reversa estabelecida com a aprovação da Lei Federal 12.305/2010, a da PNRS, como um conjunto de ações, procedimentos, com objetivo de viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

Em Minas Gerais, a logística reversa é desenvolvida e implantada através de Termos de Compromisso, conforme estabelecido pela Deliberação Normativa nº 188/2013, acompanhados pela Gerência de Resíduos Especiais, segundo FEAM (2017). No Quadro 3, pode-se constatar os objetivos e legislação pertinente à logística reversa.

Quadro 3: Objetivos e legislação sobre logística reversa

OBJETIVOS	<ul style="list-style-type: none"> *Viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada; *Incentivar à substituição dos insumos por outros que não degradem o meio ambiente; *Incentivar a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis; *Criar condições para que as atividades produtivas alcancem níveis elevados de eficiência e sustentabilidade.
LEGISLAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> *<u>Lei 12.305, de 2010;</u> *<u>Decreto nº 7404, 2010;</u> *<u>Lei nº 18.031, de 2009;</u> *<u>Decreto nº 45181, de 25 de setembro de 2009;</u> *<u>Deliberação Normativa COPAM nº 188, de 2013;</u> *<u>Resolução CONAMA nº 416, de 30 de setembro de 2009</u> *<u>Resolução CONAMA nº 362, de 23 de junho de 2005</u> *<u>Resolução CONAMA nº 401, de 4 de novembro de 2008</u> *<u>Instrução Normativa Ibama nº 8, de 30 de setembro de 2012</u> *<u>Lei Federal nº 7802, de 11 de julho de 1989</u> *<u>Lei Federal nº 9.974, de 6 de junho de 2000</u> *<u>Decreto Federal nº 4074, de 04 de janeiro de 2002</u> *<u>Resolução CONAMA nº 465, de 5 de dezembro de 2014</u> *<u>Deliberação Normativa COPAM nº 188, de 2013</u> *<u>Deliberação Normativa COPAM nº 207 de 2015</u>

Fonte: FEAM (2017)

Para que a logística reversa aconteça de forma eficiente é necessária intensa participação dos adquirentes e usuários de produtos, que após o consumo devem depositar frascos e vasilhas em locais apropriados, bem como o setor empresarial deve demonstrar responsabilidade ambiental em investir em mecanismos para a efetivação de todas as etapas desta metodologia.

3.6 Disposição final de resíduos sólidos urbanos

3.6.1 A céu aberto: lixão

O lixão é considerado uma forma de disposição final inadequada de RS. Neste caso, os resíduos são lançados e permanecem a céu aberto; as pessoas e animais têm acesso aos resíduos. Não possui nenhum critério técnico pré executado, não é passível de licenciamento ambiental, expõe a população e o meio ambiente a contaminantes e resíduos da decomposição dos RS. Segundo ABRELP (2016), na Região Sudeste, 10,0% dos resíduos são depositados em lixões. Na Figura 5 está representado um perfil geral de uma área que foi destinada ao descarte irregular de RS, formando um lixão, com a presença de pessoas e a ausência de qualquer tipo de proteção ambiental.

Figura 5 - Lixão



Fonte: FEAM (2010)

3.6.2 Aterro controlado

A Lei 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos estabeleceu prazo até agosto de 2014 para que os municípios passassem a realizar a disposição final ambientalmente adequada dos RS. Até 2010, o aterro controlado era considerado uma forma

intermediária e controlada de disposição final dos RS, preferível ao lixão e aceitável para os municípios com menos de 20.000 habitantes, até a implantação de um sistema adequado de tratamento e/ou disposição final de RSU.

Após 2014 todos os aterros controlados deveriam ter suas atividades encerradas, pois a forma de disposição em aterro controlado é considerada tecnicamente irregular. Conforme indicado em ABRELP (2016), Região Sudeste, 17,3% da destinação dos RSU são para os aterros controlados, uma porcentagem significativa. Na Figura 6, observa-se um modelo clássico de um aterro controlado em operação, com a presença de trator recobrindo os resíduos, mas sem atendimento à normatização técnica para disposição final de RSU.

Figura 6 - Aterro controlado



Fonte: FEAM (2010)

3.6.2.1 Recuperação de lixões e aterros controlados

Somente os aterros sanitários regulamentados, com intenso monitoramento apresentam condições ambientalmente adequadas para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos e são passíveis de licenciamento. No Estado de Minas Gerais, existe o projeto Minas Sem Lixões, que enfatiza a necessidade de disposição em aterros sanitários, determina aos municípios o encerramento do recebimento de RSU em aterros controlados ou em lixões.

Conforme COPAM (2008), para a recuperação de um lixão como aterro controlado todos os requisitos estabelecidos na Deliberação Normativa Nº 118/2008 do COPAM devem

ser atendidos. O cumprimento à legislação específica por parte dos municípios e uma intensa fiscalização por parte dos órgãos estaduais são instrumentos imprescindíveis para uma correta disposição dos resíduos sólidos urbanos.

3.6.3 Aterro sanitário

Aterro Sanitário, segundo ABNT (2004), é:

Uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Este método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos na menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada trabalho, ou intervalos menores, se necessário. (ABNT, 2004, p. 4).

Conforme indicado em ABRELP (2016), na Região Sudeste 72,7% dos resíduos são depositados em aterros sanitários.

Este método de disposição final dos resíduos deve apresentar todos os elementos de proteção ambiental, tais como: sistema de impermeabilização de base e laterais, sistema de cobertura, sistema de drenagem e tratamento de percolado, sistema de coleta e tratamento dos gases, sistema de drenagem superficial e sistema de monitoramento.

Na Figura 7, observa-se uma área onde foi instalado um aterro sanitário, ao centro da figura, pode-se visualizar os drenos para gases, a impermeabilização do solo nas laterais, canais de drenagem pluvial e drenos para o chorume, caracterizando uma destinação adequada que minimizam os impactos ambientais.

Figura 7 - Aterro sanitário



Fonte: FEAM (2010)

3.7 Aproveitamento energético de gases de aterros de resíduos sólidos urbanos

A norma brasileira de operação de aterros (ABNT/ABNT/NBR 13.896/97), em seu item 5.3, sobre emissões atmosféricas, sugere que todos os aterros devem ser desenvolvidos para minimizar emissões atmosféricas e promover a captura e destruição de eventuais emissões. Esta norma não representa uma obrigação legal, apenas uma recomendação.

Segundo Pasini (2003) o poder calorífico inferior, PCI, do biogás é cerca de 5.500 kcal/m³, quando a proporção de metano é cerca de 60%.

Segundo Leite, Mahler e Filho (2005), o Brasil está buscando novas fontes de geração de energia renovável para a sua matriz. O aproveitamento energético de biogás do processo de decomposição dos RS é uma área em expansão.

Segundo IPCC (2015) a taxa constante de geração, ou decaimento, de metano (k) para cada um dos componentes de resíduos sólidos sofrem variação. Para o Brasil é considerado o clima tropical, com Temperatura Média Anual (TMA) e é indicado como um dos parâmetros para estimar a geração de biogás.

3.8 Ação microbiana na decomposição de resíduos e de geração de gases

Segundo Castilhos *et al.* (2003), o processo de degradação dos resíduos sólidos é um fenômeno constituído essencialmente pela superposição de mecanismos biológicos e físico-químicos, catalisados pelo fator água, presente nos resíduos pela umidade inicial e pelas águas das precipitações.

A disposição dos resíduos em aterros, possibilita a concentração da ação de microorganismos, em especial as bactérias, que passam a utilizar da biomassa como fonte de matéria, energia para sua multiplicação, conseqüentemente ocorre a liberação de gases, entre eles os de efeito estufa, como o gás metano.

Bactérias metanogênicas, estão descritas no grupo das Arqueobactérias, vivem em ambiente anaeróbio e são capazes de produzir metano a partir de compostos orgânicos, tais como resíduos em decomposição, conforme descreve Maldaner (2011) conforme as fases de biodegradação dos resíduos:

O processo de biodegradação dos resíduos passa por cinco fases até a bioestabilização. A fase I é aeróbia, devido à presença de oxigênio na massa de resíduos durante a disposição e compactação. A fase II é uma fase de transição em que o oxigênio é consumido e a condição anaeróbia é estabelecida. Na fase III(fase ácida), as atividades microbiológicas iniciadas na fase II são aceleradas com a produção de ácidos orgânicos, há liberação de CO₂ e H₂. Na fase IV, a atividade metanogênica torna-se predominante, e a produção do metano aumentada. Nesta fase, grande parte do sistema está em regime estabelecido, com a composição do gás e do lixiviado relativamente constantes. A passagem para a fase V se dá pela redução da velocidade de decomposição. A produção de gás se reduz significativamente, podendo haver entrada de ar novamente no sistema. (MALDANER, 2011, p. 36).

Conforme Maldaner (2011) a maioria das espécies conhecidas de bactérias metanogênicas é mesófila, que requerem condições ótimas de metabolismo em temperaturas próximas à temperatura ambiente, mas há espécies hipertermófilas, e também espécies psicrófilas.

Para Maldaner (2011) no processo de metanogênese, algumas espécies utilizam CO₂ e H₂. Como consomem hidrogênio durante o metabolismo, estas são denominadas hidrogenotróficas; pertencem a este grupo as ordens Methanococcales, Methanobacterales, Methanomicrobiales e Methanopyrales. A descrição da ação microbiana frente a significativa e farta quantidade de resíduos depositados nos aterros é de fundamental importância para o monitoramento, a avaliação decompositora e suas características específicas. A determinação da diversidade microbiana metanogênica pode ser realizada conforme as técnicas descritas no Quadro 4.

Quadro 4 - Técnicas para determinação da diversidade microbiana metanogênica

Técnica	Descrição
Eletroforese em gel de gradiente desnaturante (DGGE)	A eletroforese em gel de gradiente desnaturante ou DGGE, é uma técnica que permite a separação de fragmentos amplificados de DNA de mesmo tamanho, mas que têm diferenças na sua constituição química. Seu princípio baseia-se na diferença de estabilidade das fitas duplas de DNA, que depende principalmente do conteúdo das bases nitrogenadas guanina (G) e citosina (C) dentro de um gradiente de desnaturação. A migração diferenciada dos produtos de PCR amplificados gera um perfil de bandas.
Reação em cadeia da polimerase (PCR)	Realiza-se a amplificação da região do DNA de interesse, como por exemplo, o DNAr 16S por meio de uma reação enzimática chamada de PCR. A região do DNA a ser amplificado é determinada pelo par de <i>primers</i> ou iniciadores, que são pequenas seqüências de nucleotídeos (oligonucleotídeos) de DNA, construídas artificialmente, complementares e específicas a duas regiões distintas no DNA microbiano de interesse.
Hibridização <i>in situ</i> com oligonucleotídeos fluorescentes (FISH)	Técnica de hibridização com sondas fluorescentes de oligonucleotídeos, pequenas seqüências de ácidos nucléicos, que são específicas e complementares a moléculas-alvo, como DNA e RNA.

Fonte: Abreu (2007)

Conforme destacado na literatura, a técnica de FISH é uma ferramenta molecular que tem sido utilizada em estudos de investigação e avaliação de microrganismos específicos, fornecendo informações valiosas sobre sua ocorrência, abundância e importância fisiológica nos mais variados ambientes e no monitoramento de sistemas de tratamento anaeróbio como reatores UASB Liu et. al., (2002); Batistone et. al., (2004); Calli *et al.* (2005), digestores de resíduos sólidos Chouri *et al.* (2005) e aterros sanitários Calli *et al.* (2006).

A determinação do mecanismo de ação das bactérias metanogênicas é um campo que ainda necessita de estudos e elaboração de experimentos específicos para cada aterro, sanitário ou controlado, principalmente no que refere-se a adequação de técnicas para inoculação deste tipo de microorganismos com o objetivo de potencializar a geração de biogás através da decomposição dos RSU com rigoroso monitoramento e controle.

3.9 Fatores que influenciam na geração de biogás

A formação do biogás em aterros sanitários se dá a partir da decomposição de resíduos orgânicos presentes no lixo doméstico, resíduos de atividades agrícolas, pecuária, lodo de esgoto, dentre outros. O biogás é usualmente composto por uma mistura de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de outros gases como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis. Segundo Azevedo e Landim (2016) dependendo da eficiência do processo de produção, o biogás chega a conter entre 40% e 80% de metano.

Conforme Azevedo e Landim (2016), a capacidade de um aterro gerar gás vai depender de muitos fatores como, por exemplo, a composição do resíduo, umidade, pH, entre outros.

Os fatores que afetam a geração de biogás são descritos a seguir:

a). Composição do resíduo: principal variável em relação à produção de biogás. Quanto maior a fração orgânica de resíduos, maior será a produção de metano. Segundo IPCC (2006), a fração de carbono orgânico degradável (DOC) sofre variação, conforme a composição dos RSU dispostos nos aterros, o que está descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros percentual de degradação de RSU

Tipo de Resíduo	DOC (%resíduos úmidos)	DOC (%resíduos secos)
Madeira	43%	50%
Celulose, papel e papelão	40%	44%
Alimentos	15%	38%
Tecidos	24%	30%
Restos de podas	20%	49%
Couro e borracha	39%	47%
Fraldas descartáveis	24%	60%
Lodo de esgoto sanitário	9,0%	26%

Fonte: IPCC (2006)

b) Umidade: variável importante na geração de biogás, pois a água interfere diretamente nos processos de fermentação anaeróbia e na mistura de substâncias solúveis. Quanto maior o teor de umidade, maior será a produção de biogás.

c) Granulometria: variável referente à superfície de contato das partículas do resíduo, que também contribui para o aumento da geração de biogás, quanto menor a granulometria, maior superfície de contato e maior geração de biogás.

d) pH: fator limitante para a geração de metano através da decomposição de lixo, pois interfere na ação das bactérias decompositoras. Faixa ótima de pH entre 6 e 8;

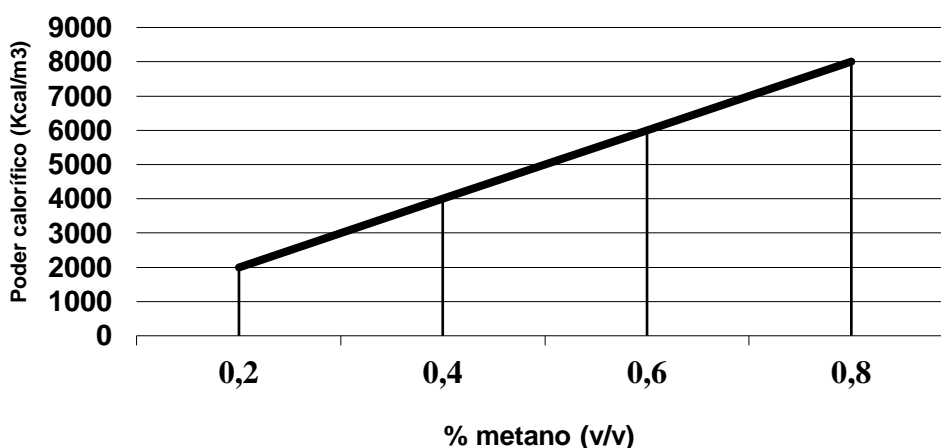
e) Temperatura: variável que determina, entre outros, a atividade metabólica dos microorganismos que decompõe o lixo. Ressalta-se, neste caso, que o gás gerado atinge até

60° C no interior da massa de resíduos, diminuindo com a proximidade da superfície do mesmo.

3.10 Potencial calorífico do biogás

O volume específico também deve ser considerado durante a manipulação e armazenamento do biogás, deve haver o rigoroso controle de aspectos de segurança e monitoramento. Estudos mostram que a quantidade de metano, gás inflamável, presente no biogás aumenta seu poder calorífico, e o CO₂ é a forma mais oxidada do carbono, não podendo ser queimado. Na Figura 8 está apresentada o poder calorífico do biogás (kcal/m³) de acordo com o percentual de metano.

Figura 8 - Poder calorífico do biogás (kcal/m³) conforme o percentual de metano



Fonte: Alves (2000)

3.11 Redução na emissão de gases de efeito estufa e créditos de carbono

A redução nas emissões de GEE's é um significativo indicador de melhoria na qualidade ambiental, está inserido nas políticas e tratados sobre o tema de alterações climáticas. Podem ser calculados e os resultados obtidos usados na análise da viabilidade econômica, por fazerem parte da comercialização dos créditos de carbono. Neste sentido, a estimativa de redução na emissão de gases de efeito estufa são importantes indicadores de ambientais e econômicos. Os de projetos de captação e aproveitamento energético de aterros sanitários com objetivo de geração de energia elétrica baseados nos valores de redução de emissões de GEE's são planejados:

- a). por meio da combustão na tecnologia de geração de energia elétrica.
- b). pela destruição em tocha do gás excedente, não utilizado na geração de energia.

As receitas dos projetos são oriundas da venda da energia produzida e de reduções de emissões certificadas (CER's) de gases do efeito estufa. Segundo IPCC (2016), o valor das CER's variam, em 2012, entre US\$ 4,00 a US\$ 6,00/tonelada de CO₂. Cabe ressaltar que por meio da conversão do metano em dióxido de carbono, através da combustão do metano é avaliada uma redução no potencial de aquecimento global cerca de 21 vezes maior. Quanto mais metano for aproveitado, mais energia gerada e conseqüentemente menos CO₂ será lançado na atmosfera.

3.12 Mecanismo de desenvolvimento limpo no Brasil

A captura e queima de biogás é uma prática indicada na literatura como mecanismo de redução de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera que pode participar em projetos de comercialização no mercado de carbono.

Segundo Atlas (2016), no Brasil estão reportados 23 projetos de captura e queima de biogás, o que representa 50% dos projetos de MDL no país. Destes projetos, 22 deles, apresentam metodologia ACM 0001 = Flaring or use of landfill gas, traduzido, queima ou uso de gás de aterro, é a mais usada no mundo. Entretanto, os investimentos em queima direta apresentam um cenário de menor custo, relacionados com os indicados para aproveitamento energético.

3.13 Comparação do aproveitamento energético entre 3 aterros brasileiros

Existem diferenças significativas entre aterros sanitários e aterros controlados, sendo que estes últimos encontram-se impedidos de serem licenciados, entretanto, os que operam com previsão de encerramento e os já encerrados, continuam gerando biogás e é de fundamental importância a adaptação técnica para captar e realizar o aproveitamento energético do mesmo, pois este continua sua emissão na atmosfera pelo processo de decomposição dos resíduos já confinados nestes locais.

A análise comparativa entre aterros sanitários que realizam o aproveitamento energético do biogás pode servir para estimar a possibilidade de implantação de projeto similar no ACRN, com o dimensionamento da emissão de gás em ambos.

No Quadro 05, são comparados os dados de três aterros sanitários e todos apontam o aproveitamento do biogás para geração de eletricidade, com especificidades técnicas diferentes.

Quadro 05 - Comparação entre aterros sanitários brasileiros com projetos de aproveitamento energético

NOME	CTR São Mateus	CTR Santa Rosa	CTR Candeias
ESTADO	Espírito Santo	Rio de Janeiro	Pernambuco
CIDADE	Consórcio (15 municípios)	Seropédica	Jaboatão dos Guararapes
SITUAÇÃO	Em operação	Em operação	Em operação
GERAÇÃO DE BIOGÁS OU METANO	Estimado (no ano 10) 918 Nm ³ /h (taxa de vazão)	Estimado (no ano 10) 35.295m ³ LFG/h (taxa de geração)	Estimado (no ano 8) 103.395 tCO ₂ e (MD-GWP CH ₄)
APROVEITAMENTO	- Usina elétrica com motor de combustão interna	- Geração de eletricidade com motores modulares	- Geração de eletricidade – com unidades modulares

Fonte: Atlas (2009)

Deve-se observar que a comparação entre geração de biogás e/ou gás metano deve ser ajustada a um parâmetro que possibilite uma análise e projeção adequada para os aterros controlados, conforme Atlas (2009), o fator de correção para aterro controlado é de 1,0 em mcf (fator de correção do metano). O IPCC conceitua como aterros controlados aqueles nos quais existe uma deposição controlada dos resíduos, ou seja, áreas específicas para depositar os resíduos e algum grau de controle da coleta do lixo

Em relação ao tipo de aproveitamento, a opção de escolha dos três aterros sanitários comparados foi a utilização da fonte energética para geração de eletricidade, sendo CTR São Mateus o uso de motor de combustão interna e os demais com motores em unidades modulares.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste estudo foi descritiva, com coleta de dados qualitativos e quantitativos, sendo estes classificados como primários e secundários. O objeto de estudo central do trabalho foi o estudo de caso, onde avaliou-se o potencial da viabilidade técnica, ambiental e econômica da potencial implantação da captação de biogás no ACRN. Para tanto foram necessárias a realização das seguintes etapas: a avaliação da coleta seletiva no âmbito municipal; determinação da composição gravimétrica conforme orientações de FEAM (2016) e a estabelecida pela ABNT- NBR 10.007/2004, no ACRN; a mensuração da emissão do CO₂, O₂ e CH₄ no ACRN; a descrição de necessidades adaptativas em tecnologias já existentes para uso no ACRN e demais aterros controlados. Realizou-se uma abordagem comparativa com dados secundários de 3 aterros sanitários e controlados já em operação no Brasil que captam e aproveitam energeticamente o biogás.

4.1 Estudo de caso: aterro controlado de Ribeirão das Neves

4.1.1 Histórico municipal

O Município de Ribeirão das Neves foi fundado em 12 de dezembro de 1953, basicamente com uma economia de produção e comercialização de hortaliças. Após 1970, passou a apresentar um crescimento demográfico acentuado promovido pela expansão imobiliária da região da capital mineira. Com a implantação de mais de quatro unidades prisionais, e sem oferecer postos de serviços para a mão de obra local, Neves, passou a ser considerada uma cidade-dormitório. Segundo IBGE (2010), a partir de 1990, o município inicia um processo de crescimento sócio-econômico com a intensificação do comércio e da indústria local. Atualmente, o município possui três regiões administrativas: Central, Veneza e Justinópolis e é frequentemente chamado de “Neves”. As características gerais do município encontram-se dispostas no Quadro 6.

Quadro 6 - Caracterização geral de Ribeirão das Neves

ÍTEM	DESCRIÇÃO	FONTE CONSULTADA/ANO
Localização	Região Metropolitana de Belo Horizonte/MG	IBGE (2015)
Área	155,541 Km ² ,	IBGE (2015)
População	296.317	IBGE (2010)
IDH	0,684	IBGE (2012)
PIB - Valor adicionado bruto de serviços	2.000.166 (mil reais)	IBGE (2008)
Coleta seletiva	Alguns bairros da área urbana da sede municipal	PNSB (2008)
Catadores (informais)	Existem catadores no perímetro urbano municipal	PNSB (2008)
Manejo de resíduos sólidos	Prefeitura e empresas terceirizadas executam	PNSB (2008)
Vegetação	Região de transição entre Cerrado e Mata Atlântica	IBGE (2010)
Clima	CWB – Clima Tropical de Altitude	IBGE (2010)
Unidade de relevo	Depressão Sanfranciscana	IBGE (2015)
Bacia Hidrográfica	Rio São Francisco/Sub-bacia do Ribeirão da Mata	IBGE (2015)

Adaptação: Autora (2017)

Cabe ressaltar que para os levantamentos de dados, documentos pertinentes e acesso às dependências do ACRN houve prévio contato, solicitação e autorização formalizada pela atual administração municipal, conforme Apêndices A e B.

4.1.2 Resíduos sólidos urbanos em Neves

A coleta dos RSU, segundo PMRN (2012), teve início com a participação de carroceiros, contratados pela Prefeitura, que depositavam os RSU, em locais próximos aos bairros da coleta. Na região central, esteve em operação um lixão no período de 1980 a 2005, local onde ocorria a deposição diária, em céu aberto e com presença constante de catadores. Em 1999, após manifestações populares, a Prefeitura se viu na urgência de dispor os resíduos em outro local. Iniciou-se, desta forma, os procedimentos para aquisição de um terreno com o objetivo de implantar um aterro e coleta domiciliar com caminhões. Sem condições financeiras para a construção de um aterro municipal, após diversas intervenções do órgão ambiental estadual e da população, foi firmado um Termo de Ajustamento de Conduta, junto ao Ministério Público, que exigia o fim do lixão e coleta domiciliar regular.

O aterro municipal começou a ser operado no ano de 2005, entretanto, com a mudança da legislação dos resíduos sólidos urbanos, o órgão ambiental estadual passou a notificar a prefeitura para que esta encerrasse as atividades no ACRN e passasse a operar com um aterro sanitário.

No ano de 2007, a então administração pública municipal autorizou o início de licenciamento ambiental de um aterro sanitário, entretanto o órgão ambiental estadual apontou o consorciamento entre 26 municípios como alternativa para elaboração do projeto do aterro sanitário através de uma empresa do grupo Veolia. Houve a intervenção da sociedade civil organizada, conforme indicado no Anexo A, através da Associação Ambientalista Naturae vox (AANVOX), Associação pelo Bem Nevense (ACIBEN) e lideranças políticas locais, que questionaram o projeto apresentado, pelo não atendimento à legislação ambiental vigente, bem como a comunidade local não concordou com a estrutura de consorciamento para receber resíduos sólidos de outros municípios. A AANVOX ajuizou ação civil pública e ação na justiça comum, que chegou a ser julgada em última instância e conclusa pelo arquivamento do processo de licenciamento ambiental. Paralelamente, os representantes do Legislativo Municipal em atuação conjunta, aprovaram a Lei Municipal Nº 3106/2008, Anexo B, sancionada pelo então Prefeito Municipal, que remete a autorização para o recebimento de resíduos sólidos urbanos de outros municípios ao poder legislativo.

Com a intervenção do Ministério Público do Estado de Minas Gerais, encontra-se em andamento os processos números: 0391882 - 65.2013.8.13.0231; 0417737 - 46.2013.8.13.0231; 5006314 - 98.2015.8.13.0231 e 5006354 - 80.2015.8.13.0231, na Vara Cível da Comarca de Ribeirão das Neves, todos referentes à disposição de resíduos sólidos urbanos na cidade.

Atualmente, encontra-se em licenciamento no órgão estadual, um aterro sanitário localizado em Ribeirão das Neves, na divisa com o Município de Esmeraldas. Este aterro sanitário é de responsabilidade técnica da Empresa Metropolitana de Tratamento de Resíduos (EMTR), constituída para planejamento e execução dos serviços de transbordo, transporte e tratamento de RSU na região metropolitana do Estado de Minas Gerais e Colar Metropolitano. Na Figura 9, está registrada a localização do aterro sanitário da EMTR, com previsão proposta de atender a 40 municípios sob o regime de parceria público privada, conforme Solvi (2017). Enquanto não ocorre a disposição de RSU no aterro sanitário da EMTR ou em outra localidade, o Município de Ribeirão das Neves continua usando o aterro controlado, objeto deste estudo. A previsão da administração municipal é que a atividade de deposição de RSU no ACRN estenda-se somente até o mês de dezembro de 2018.

Figura 9 - Localização do aterro sanitário da EMTR



- * Aterro Sanitário da EMTR, em licenciamento junto ao órgão ambiental estadual
- ** Município de Esmeraldas - MG
- *** Município de Ribeirão das Neves - MG
- **** Unidade Prisional de uma Parceria Público Privada (Empresa/Estado de MG)

Fonte: Adaptado Google Earth (2018)

Cabe destacar que Ribeirão das Neves possui Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, elaborado no ano de 2016 e prevê a regularização da situação de disposição final e coleta seletiva dos RSU.

4.1.3 Caracterização do ACRN

O ACRN situa-se na Rodovia Estadual LMG 806, região de Justinópolis, em divisa com o Bairro Viena, duas fazendas e o um córrego. Conforme disposto na Figura 10.

Figura 10 - Localização do aterro controlado de Ribeirão das Neves



Coordenadas: S 19,81° e O 44,03°

Fonte: Autora, adaptado Google Earth (2018)

O ACRN é operado em parceria público privada, sob coordenação e supervisão geral da Secretaria Municipal de Obras/PMRN. No período de 2014 à 2017 a empresa contratada foi a Império Construtora e a partir de novembro de 2017 passou a ser operado pela ISRAEL/EIRELI. Na Figura 11, destaca-se a placa de identificação do portão de entrada no ACRN.

O ACRN está localizado entre o Bairro Viena, com aproximadamente 3.000 habitantes, um córrego e a LMG 806. Logo no início das atividades do ACRN, estas eram concentradas junto à região mais próxima da LMG 806, a área de disposição final de RS foi expandindo a cada ano, chegando cada vez mais próxima ao Bairro Viena, que também apresentou crescimento e consolidação da comunidade residente que passou a sofrer com o odor característico de um aterro sanitário e conseqüentemente a depreciação do valor dos imóveis.

A ausência de drenos coletores de percolado e tratamento deste, é um grave impacto ambiental, pois existe a contaminação do lençol freático e do córrego que deságua no Ribeirão Areias.

Figura 11 - Portão de acesso ao ACRN



Fonte: Autora (2017)

Em termos de aparatos técnicos o aterro possui:

- a. drenos para vazão de biogás, com queima superficial periódica;
- b. uma via de acesso, com manutenção de taludes;
- c. cerca, com a entrada somente de pessoas autorizadas;
- d. sede administrativa, com recursos de informática e comunicação externa;
- e. balança veicular com dados registrados em arquivos digitais;
- f. pessoal de operacionalização, entre motoristas, ajudantes e pessoal de manutenção interna da área do ACRN. Apresenta pessoal de gestão, como secretária, coordenador e técnicos especializados nas atividades correlatas.

Na Figura 12, observa-se o registro dos tipos e disposição dos drenos para captação e queima de biogás no ACRN. Constata-se que esta é uma forma paliativa de captação e queima de biogás, sem atendimento aos procedimentos indicados nas orientações técnicas normatizadas pela ABNT e órgão ambiental estadual.

Figura 12 - Drenos de condução de biogás usados no ACRN



Fonte: Autora (2017)

Em relação a capacidade de atendimento à demanda local, o ACRN apresenta-se com sua capacidade esgotada, haja vista a limitação da área física e não atendimento à legislação vigente, que prevê imediato encerramento dos lixões e também dos aterros controlados no Brasil.

Cabe destacar o empenho da atual administração municipal em remediar as atividades no ACRN, impedindo o acesso de transeuntes; a utilização de balança com sistema informatizado para registro dos boletins diários veiculares (BDV) conforme modelo no Anexo C; bem como de manutenção nas vias e canaletas para drenagem pluvial. Entretanto, a ausência de células impermeabilizadas, drenos para captação de chorume e biogás tecnicamente implantado, é um ponto ainda desafiador para o monitoramento e gerenciamento do ACRN. Na Figura 13, observa-se a sede administrativa, balança e rampa de acesso do ACRN.

Figura 13 - Vista do interior do ACRN



Fonte: Autora (2018)

4.2 Composição gravimétrica dos RSU e geração de biogás

Segundo a ABNT NBR 10.007:2004, a amostragem de resíduos sólidos, ou determinação da composição gravimétrica consiste em determinar os constituintes e suas respectivas percentagens, em peso, de uma amostra dos RSU de uma cidade ou região.

Foi realizada a determinação gravimétrica neste estudo, conforme preconizado pelo órgão ambiental estadual, que tem por objetivo orientar e padronizar esta atividade nos municípios mineiros.

A geração de biogás que ocorre nos aterros pela ação da decomposição microbiana dos RSU, pode ser monitorada por instrumentos apropriados ou estimada por cálculos e equações específicas. A caracterização gravimétrica é imprescindível para a determinação de geração de biogás e quantitativo de RSU por categoria nos aterros Andrade e Santos (2011). Para realizar a estimativa de geração de biogás neste estudo, optou-se pela metodologia indicada pela ABNT NBR 10.007:2004 sobre amostragem de resíduos sólidos, realizada no mês de fevereiro de 2018 nas dependências do ACRN.

O método de tendência para estimar a população ano a ano, adotado neste estudo foi realizado segundo IBGE (2017), que avalia a projeção populacional de uma área maior, no caso considerado o Estado de Minas Gerais, cuja estimativa já se conhece, em n áreas menores, os municípios, como por exemplo, Ribeirão das Neves.

As estimativas de geração de biogás foram determinadas, observando os parâmetros e equações indicados na literatura a partir dos dados dos boletins diários de veículos do ano de 2017; do quantitativo populacional e da composição gravimétrica, conforme indicados neste sub item.

4.3 Mensuração da emissão de biogás

Como uma das atividades metodológicas para o delineamento do presente estudo, foi realizada a mensuração da emissão de gás carbônico no aterro de Ribeirão das Neves, conforme apontado na literatura e metodologia descrita por Andrade e Santos (2011), o Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol), é a ferramenta internacional mais utilizada para cômputo e gerenciamento de emissões de GEE.

O aparelho de escolha para a realização da mensuração do gás carbônico foi o Kane 940. Este aparelho foi usado para realizar leituras de oxigênio (O) e gás carbônico (CO₂). Cabe destacar que este aparelho possui capacidade para operar em caldeiras de combustão, as especificações técnicas do Kane 940 podem ser observadas no Anexo B, Figura 14 e resumidamente a seguir.

O K-940 faz a medição de O₂, CO, CO₂, NO, SO₂, combustão, temperatura líquida, eficiência da caldeira, excesso e perda de ar e cálculo de NO_x. O CO é medido com um sensor compensado de hidrogênio que aumenta a precisão da medição. Também calcula a taxa de CO/ CO₂ – índice de toxicidade – para fornecer leituras mais completas para a melhor e mais segura análise das caldeiras. Para análise mais precisa de NO₂ ou SO₂ é disponibilizado um sensor opcional que pode ser adquirido no ato da compra do analisador. A alta taxa de sucção através deste sensor permite ao analisador ser utilizado em combustões com taxa de sucção acima de 100mbar sem comprometer a precisão de medição. O cabo da sonda é forrado em teflon para reduzir a absorção de qualquer amostra de gás. Pode operar em todos os tipos de caldeiras e mostra em seu display até 8 parâmetros de medição simultaneamente. (HIGHMED, 2018 s. p.).

Figura 14 - KANE 940



Fonte: Autora (2017)

No presente estudo foi realizado o monitoramento do gás metano com a mensuração utilizando a metodologia indicada por Alves (2000), de placa de fluxo, nos mesmos pontos indicados para o uso do aparelho Kane 940. Na Figura 15 encontra-se o registro fotográfico de uma das medições com o aparelho Kane 940, em 6/2/2018.

Figura 15 - Registro de uso do Kane 940



Fonte: Autora (2018)

Os dados foram obtidos no presente estudo, com o monitoramento de CO₂, O₂ e CH₄ no ACRN, com as medições realizadas em 5 pontos, com a coleta de três medições de vazões superficiais, durante dois dias, o primeiro dia 22 de novembro de 2017, período sem precipitações e a segunda medição no dia 06 de fevereiro de 2018, logo após o período de precipitações pluviométricas.

O método para realizar a medição de emissão de gases na superfície do aterro para mensuração de gás metano e de placas de fluxo, conforme indica como métodos citados por Maciel (2003):

Placas de fluxo (estática e dinâmica) Vantagens: mais preciso na determinação de emissão pontual, larga experiência prática, baixo custo, simples instalação, necessita mão-de-obra pouco especializada, possibilidade de determinar parâmetros do solo da camada de cobertura, permite avaliação simultânea de vários gases. Desvantagens: necessita de inúmeros ensaios para obtenção da emissão total do aterro, duração do ensaio prolongada a depender das dimensões da placa e possibilidade de modificação das características da cobertura na cravação. (MACIEL, 2003, p. 136).

As desvantagens apontadas por Maciel (2003), foram levadas em consideração ao serem determinados os pontos de coleta e o tamanho da placa foi de 1,0 m x 1,0 m, com tempo de permanência em 30 minutos e cravação em superfície previamente preparada. Não foi possível realizar o monitoramento em uma seqüência de dias subsequentes devido à frequência de precipitações que dificultaram o acesso nos pontos determinados.

4.4 Estimativa de geração de biogás, metano e energia em aterros de resíduos sólidos

4.4.1 Modelo IPCC

Para o cálculo do potencial de geração de biogás em aterros sanitários ou controlados, sugere-se que sejam utilizadas as metodologias elaboradas pelo IPCC (2009), conforme a Equação 1.

$$LFG = k \cdot R_x \cdot L_o \cdot e^{-k(x - T)} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

LFG = emissão de metano ($\text{m}^3/\text{metano}/\text{ano}$);

k = constante de decaimento

Rx = fluxo de resíduos no ano (tonRSD) (dados reais da quantidade de resíduos depositados desde o início de operação do aterro e estimativas da quantidade a ser depositada até o encerramento do aterro);

L_0 = potencial de geração de gás metano (m^3 biogás/tonRSD);

x = ano atual;

T = ano de deposição do resíduo no aterro (início de operação)

Entretanto, será necessário primeiro calcular a fração de carbono orgânico degradável no lixo (DOC) depositado no aterro, Equação 2.

$$\text{DOC} = \sum (\text{DOC}_i \cdot W_i) \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

DOC = fração de carbono orgânico degradável

DOC_i = fração de carbono orgânico degradável no tipo de resíduo i;

W_i = fração do tipo de resíduo i por categoria do resíduo

O valor de DOC é obtido a partir da composição do material depositado no aterro. Após o cálculo do DOC, é necessário calcular o potencial de geração de metano no resíduo (L_0), conforme Equação 3.

$$L_0 = \text{MCF} \times \text{DOC} \times \text{DOC}_f \times F \times 16/12 \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

L_0 = potencial de geração de metano do resíduo (m^3 biogás/tonRSD);

*O potencial de geração de metano do lixo (L_0) é de 170 m^3 de CH_4 / t de resíduo para os aterros domésticos.

MCF = fator de correção do metano = 1 (aterro bem gerenciado)

DOC = valor obtido por meio dos cálculos realizados na Eq. 2;

DOC_f = fração de DOC que pode se decompor = 0,50 (recomendação do IPCC, 2006); F = fração de metano presente no biogás.

Caso o aterro não possua o valor real da quantidade de metano presente no biogás, pode-se utilizar a estimativa de 0,5, pois geralmente a quantidade de metano presente no biogás de aterro é 50%; $16/12 =$ conversão de carbono para metano (CH_4). Na Tabela 2 estão listados os parâmetros e valores usados para estimativa de geração de biogás, segundo IPCC (2006).

Tabela 2 - Parâmetros e valores padrão do IPCC

Parâmetros	Valores Padrão
1. F (fração de metano no LFG)	0,5
2. DOCf(fração de DOC no LFG)	0,5
3. MCF (fator de correção para metano em aterros controlados)	0,8
4. 16/12 (conversão de carbono para metano)	1,33
5. AF (fração de CH_4 capturado & queimado ou usado no SWDS)	5%
6. OX (fator de oxidação para o SWDS)	0,1
7. GWP metano	21
8. Densidade do metano, kg/m^3 (0°C , 1 atm)	0,7168
9. φ (fator de correção do modelo)	0,9
10. L_0 (potencial de geração de metano em m^3 para cada tonelada de RSU)	170,0
11. k (constante de decaimento)	0,04
12. e(C.N.)	2,71

Fonte: IPCC (2006)

A unidade do L_0 calculado a partir da Equação 3 será $\text{kg metano/kg/resíduo}$. Portanto, para que a unidade seja transformada para $\text{m}^3\text{biogás/tonRSD}$ deve-se dividir o valor de L_0 obtido por $0,0007168 \text{ ton/ m}^3$ (densidade do metano). Assim, a partir do L_0 , da constante de decaimento k e do fluxo de resíduo no ano, utiliza-se a Equação 1 para calcular a quantidade de metano emitida por ano no aterro ($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ano}$). Entretanto, para usar esta equação deve-se levar em consideração a composição gravimétrica e a fração de metano para cada componente dos RSU depositados no aterro, no presente estudo foram considerados todos os 12 parâmetros listados na Tabela 2, conforme equações e indicações pertinentes.

Para obter-se estimativa da potência e energia disponíveis no aterro para a determinação da potência e energia sugere-se utilizar as seguintes expressões, apontadas em IPCC (2009) com uso da Equação 4.

$$P = Q \times \text{PCI} \times \eta \quad E = P \times \text{Rend} \times \text{Tempo de Operação} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

P = potência disponível (MW);

PCI = Poder Calorífico Inferior do metano. Caso o aterro não possua o valor real do PCI do metano, pode-se adotar 5.500 kcal/ m³CH₄ (valor adotado para 50% de metano presente no biogás de aterro);

η = eficiência de motores (geralmente é 28% = 0,28);

860.000 = conversão de kcal para MW;

E = energia disponível (MWh/dia)

Rend = rendimento de motores operando a plena carga (estimado em 87% = 0,87) Tempo de operação do motor = 24 horas/dia Portanto, em função da vazão de metano, pode-se realizar os cálculos da potência (MW) e da energia (MWh/dia) disponíveis no aterro ano a ano.

No Apêndice C, são apresentados dados que servem como estimativa para avaliação do potencial de geração de energia elétrica e viabilidade de investimento para captação e utilização de biogás e gás metano.

Um megawatt (MW) é uma unidade de medida correspondente a 10⁶ watts. A partir do ano 12 a recuperação de gás metano (t/ CH₄) é suficiente para manter em funcionamento uma microturbina, conforme indicado na tabela 4. Estima-se que a recuperação energética é suficiente para ser usada no funcionamento das instalações do próprio aterro ou nas imediações do mesmo, como por exemplo, complementar a iluminação de vias públicas urbanas, ou ainda, para funcionar um motor de 40 HP, equivalente ao consumo de 20 residências simples, com consumo estimado na Tabela 3, segundo Eletrobrás (2017).

Tabela 3 - Gasto mensal de energia elétrica em kWh/mês

EQUIPAMENTOS	QUANTIDADE	CONSUMO ESTIMADO
Geladeira	01	40 kWh/mês
Computador	01	15 kWh/mês
Televisão	01	15 kWh/mês
Chuveiro	01	80 kWh/mês
Microondas	01	15 kWh/mês
Lâmpadas (60 w)	01	145 kWh/mês
Ferro de passar	01	5 kWh/mês
Total		328 kWh/mês

Fonte: Eletrobrás (2017)

4.4.2 Modelo US-EPA

O modelo apresentado pela United States Environmental Protection Agency (US-EPA), conforme IPCC (2009), através da Equação 7 é usado para estimar a geração de biogás para um dado ano com base em todos os resíduos despejados até este ano. Projeções para múltiplos anos são desenvolvidas variando o ano de projeção e reaplicando as equações. O ano de maior geração de biogás ocorre normalmente no encerramento do aterro ou no ano seguinte ao mesmo (dependendo do índice de deposição do ano final). A estimativa de produção de metano é expressa pela Equação 5.

$$Q_{(CH_4)_y} = \sum_{i=1}^n 2 k L_o M_i (e^{-kti}) \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que:

Σ = Soma desde o ano de abertura+1 (i=1) até o ano de projeção(n);

i=1

$Q_{(CH_4)_i}$ = Metano produzido no ano i a partir da seção i do resíduo (m³/ano);

k = Constante taxa de degradação de metano (ano⁻¹);

L_o = Potencial máximo de geração de metano (m³/ton);

M_i = Massa de resíduos sólidos despejados no ano i;

t_i = Idade dos resíduos despejados no ano i (anos).

4.5 Viabilidade ambiental do aproveitamento energético do biogás

Em cumprimento às Resoluções CONAMA 001/86, 006/87 e 279/01, Decreto do Estado de Minas Gerais 44.844/2008 e à Deliberação Normativa COPAM-MG 74/2004, para instruir o processo de licenciamento prévio de projetos de recuperação de biogás de aterro sanitário, com aproveitamento energético em planta com capacidade instalada superior a 10 MW é solicitado elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), entretanto para o licenciamento de empreendimentos cujos níveis de geração de energia elétrica sejam inferiores ao valor supracitado deverá ser apresentado o Relatório de Controle Ambiental (RCA), a ser elaborado sob orientação de Termo de Referência (TR) específico.

Para a instalação e operação da Unidade Geradora de Energia Elétrica (UGEE), foi necessário realizar a caracterização geral do empreendimento, cronograma básico e análise dos impactos ambientais e medidas mitigadoras, descritos a seguir.

4.6 Aproveitamento energético do biogás no ACRN

Para realizar o aproveitamento energético do biogás no ACRN está proposto pelo presente estudo a implantação e operação de uma Unidade Geradora de Energia Elétrica (UGEE) prevista para ser instalada dentro da área do ACRN, localizado na LMG 806, conforme estudo de caso, ver Apêndice D, para maior detalhamento.

Atualmente parte do biogás gerado no ACRN é queimado na saída dos drenos de gases sem monitoramento específico, não é aproveitado o seu potencial de geração de energia elétrica. No Apêndice E está disponível a proposta de cronograma de implantação para as atividades correlatas ao tema deste estudo.

A usina será constituída basicamente pelas seguintes unidades:

A). Rede de Biogás: A rede de biogás será composta basicamente pela malha de drenos horizontais e verticais instalados no aterro sanitário, totalizando 37 poços de extração de biogás, os quais serão ligados aos coletores secundários, que irão encaminhar o biogás ao coletor perimetral.

B). Condicionamento do Biogás: A unidade de condicionamento de biogás irá realizar a extração do biogás do aterro sanitário. O condicionamento do biogás diz respeito ao controle da pressão no sistema, controle da umidade e tratamento do biogás (caso necessário, para garantir condições ótimas para o sistema de geração de eletricidade). A Unidade de Condicionamento de Biogás será composta por dois compressores/sopradores. A capacidade de vazão dos sopradores será modular. Serão instalados medidores de pressão e temperatura, pontos de amostragem e filtro de gás de aço inox equipado com um filtro de gás 5 µm. Ao sair dos sopradores, o fluxo será encaminhado para a flare ou para os grupos geradores, em linhas paralelas.

C). Geração de eletricidade: as potências instaladas relativas a cada fase do projeto. As Subestações Elevadoras serão construídas internamente, próximo à microturbina, abrigadas em alvenaria e protegidas por grades. Serão instalados transformadores com segurança. Cada transformador será protegido pelo seu respectivo disjuntor. A unidade de geração de eletricidade será interligada à rede elétrica, através da subestação de energia elétrica com tensão específica.

Durante a instalação do empreendimento não serão necessárias atividades de supressão de vegetação, isto porque a área pretendida para tal, encontra-se em intensa atividade. A movimentação de terra ocorrerá com as escavações e terraplanagem, para a instalação das tubulações de captação e condução do biogás.

Está prevista a contratação de 10 trabalhadores durante a instalação da UGEE, sendo o turno de trabalho das 08:00 h às 12:00 h e de 13:00 h às 17:00 h, de segunda a sexta-feira.

O consumo médio de água para abastecimento doméstico durante a instalação será de aproximadamente 1.980 l/dia, e a previsão para o período de operação será de 850 litros/dia, provenientes da captação já realizada para o abastecimento com fornecimento pela COPASA/MG.

A demanda de energia elétrica será de aproximadamente 500 kWh, que serão obtidos através da rede elétrica existente no ACRN, fornecida inicialmente pela CEMIG e autogestão.

4.6.1 Impactos ambientais e medidas mitigadoras

Durante a avaliação dos impactos ambientais inerentes à instalação e operação da UGEE no ACRN foram detalhados dez itens, conforme abaixo.

- A). O empreendimento será instalado no interior do ACRN, portanto em uma área cujas características ambientais originais já foram alteradas.
- B). A área de implantação da UGEE já se encontra terraplanada, fato este que dispensa a necessidade de supressão de vegetação, os equipamentos pesados serão usados somente para regularização e preparo do terreno para colocar os drenos, reduzindo os impactos na fase de implantação do empreendimento.
- C). A área destinada à implantação da UGEE encontra-se localizada em um platô entre o portão de entrada do ACRN e a sede administrativa, ambos em plena operação;
- D). O incremento no número de veículos pesados em circulação na área durante a implantação da UGEE será mínima, considerando-se a grande quantidade de caminhões para descarregamento dos resíduos e de tratores para distribuição e compactação dos mesmos, já se encontram em operação com circulação diariamente no ACRN.
- E). Impactos sobre a qualidade das águas: o empreendedor deverá promover a execução da rede de drenagem pluvial, durante a etapa de instalação do empreendimento, conforme projeto proposto, sendo a mesma dimensionada para operar em conjunto com a rede do

ACRN já existente. A rede de drenagem irá circundar toda a área da UGEE e será constituída de canaletas meia cana em pré-moldado de concreto.

F). Ruídos: durante a fase de instalação da UGEE haverá a geração de ruído em virtude da circulação de veículos pesados para o transporte dos equipamentos. Sendo este um período de aproximadamente quatro meses.

G). Efluentes atmosféricos: durante a fase de instalação da UGEE serão gerados efluentes atmosféricos constituídos por material particulado (poeira) e gases poluentes provenientes do funcionamento e circulação de veículos pesados. Tendo em vista as características operacionais atuais da área, a emissão de particulado será minimizada com aspersão de água e os gases serão monitorados.

H). Resíduos sólidos: durante a fase de instalação do empreendimento serão gerados resíduos inertes de construção civil, os quais serão dispostos no aterro de inertes, os resíduos com características domésticas serão dispostos no ACRN. Os materiais recicláveis serão segregados e enviados à COOMARIN.

I). Efluentes líquidos: durante o processo de implantação da UGEE haverá um aumento temporário no número de pessoas nas instalações do ACRN em função da contratação das empresas responsáveis pela execução da instalação do novo projeto. Prevê-se um aumento temporário de cerca de 10 pessoas no pico das obras. Serão utilizados banheiros químicos móveis em locais estratégicos da obra. Acrescenta-se que toda a infra-estrutura do ACRN estará disponível para os trabalhadores, tais como sanitários, vestiários e refeitório.

J). Efluentes atmosféricos: na fase de operação do empreendimento, os principais fatores potencialmente geradores de impactos à qualidade do ar estão relacionados às emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x) e monóxido de carbono (CO). Eventuais alterações dos níveis de emissão atmosférica provocadas pela operação do empreendimento serão detectadas pelo “Plano de Controle e Acompanhamento das Emissões Atmosféricas de Fontes Fixas” a ser apresentado quando da formalização da Licença de Operação.

A implantação da UGEE poderá acarretar em impactos positivos sobre a qualidade do ar na área do ACRN, tendo em vista que promoverá a queima controlada do biogás gerado no aterro, bem como a tecnologia de escolha para geração de energia elétrica, a microturbina, apresenta baixo potencial poluidor comparada à outros sistemas e já comparado em outro item do presente estudo, cabe ressaltar que atualmente é realizada a queima descontrolada na saída dos drenos de gases através de tambores com distribuição irregular no maciço de depósitos dos RSU, o que implica no desperdício de uma fonte potencial de geração de energia.

4.7 Viabilidade econômica

Segundo Protocolo de Quioto IPCC (2016) para que o projeto se enquadre no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) deve contemplar os seguintes critérios:

- a). Adicionalidade: o projeto deve comprovadamente resultar na redução de emissões de gases de efeito estufa e/ou remoção do gás carbônico adicional à que ocorreria na ausência do projeto do MDL.
- b) Linha base: representa um cenário de forma razoável, onde as emissões antrópicas de gases de efeito estufa ocorreriam na ausência do projeto proposto.
- c) Viabilidade do empreendimento condicionada à venda dos créditos de carbono: o projeto só será cadastrado no MDL se a venda dos créditos de carbono for imprescindível à viabilidade econômica do projeto, isto é, sem a venda desses créditos o projeto seria economicamente inviável. (IPCC, 2016).

Cabe destacar a necessidade de analisar o projeto em dois cenários, o conservador e o otimista, conforme as possibilidades de comercialização da energia aproveitada e comercializada. Em relação ao estudo de caso, optou-se por considerar o cenário conservador sem certificados de redução de emissões (CER) e o otimista com comercialização através de créditos de carbono.

. 4.7.1 Cenário econômico atual do mercado de crédito de carbono

O cenário econômico mundial não tem demonstrado interesse em investimentos relacionados ao MDL, uma desvantagem. Entretanto, outros mecanismos econômicos têm despontado como possibilidade de financiamentos e parcerias que estão em análises governamentais, principalmente por mercados emergentes como China e Japão.

A necessidade de estabelecer critérios econômicos para patrimônio e interferências no meio ambiente está intimamente ligada ao desenvolvimento da sociedade. Um dos elementos em pauta de governos internacionais é a precificação de carbono, a determinação de valores econômicos para emissões e captura de gás carbônico, um dos componentes dos GEE's e produzidos pela ação dos aterros de RSU.

Em CEBDS (2017), uma abordagem relaciona a precificação ao mercado brasileiro e aponta o que o setor empresarial precisa saber para se posicionar, com informações relevantes sobre o funcionamento de mecanismos de precificação de carbono, favorecendo

a compreensão dos principais desafios envolvidos no desenho e implementação desse tipo de instrumento.

Segundo CEBDS (2017), partir de 2012, o estudo da viabilidade e conveniência de se adotar um instrumento de precificação de carbono no Brasil tem sido coordenado pela Secretaria de Política Econômica do Ministério da Fazenda e se concentrado em duas frentes: o desenvolvimento de um sistema de Monitoramento, Relato e Verificação (MRV) de emissões; e a investigação sobre diferentes configurações de instrumentos de precificação de carbono. A precificação cria vantagens competitivas para os agentes que efetivamente controlam a poluição e estabelece um incentivo dinâmico mais forte para a inovação tecnológica ambiental.

Segundo a OCDE (2016), aproximadamente 13% das emissões globais de gases de efeito estufa estão, atualmente, cobertas por algum mecanismo de precificação – o triplo da cobertura de uma década atrás, mercado em expansão, principalmente no eixo dos países em desenvolvimento.

Aproximadamente 40 jurisdições nacionais e 24 cidades, estados e regiões já implementaram esse tipo de instrumento, o que representa um volume anual de 7 GtCO₂ submetido à regulação econômica (OCDE, 2016).

O “Posicionamento Empresarial sobre Precificação de Carbono no Brasil” apresenta as perspectivas da implementação de um mecanismo de precificação de carbono no país, as sugestões e propostas para o governo e uma declaração de compromisso das entidades por ele representadas. Além disso, afirma a preferência por um sistema de comércio de emissões, admitindo que esse instrumento é mais eficaz economicamente, o que permite a integração internacional com outros sistemas. (CEBDS, 2017, p. 72)

A precificação é um caminho econômico que encontra respaldo na política nacional brasileira para o meio ambiente pelo princípio do poluidor-pagador. Considerando a possibilidade de regulamentação deste segmento, são indicados dois cenários possíveis para o setor dos RSU:

A). Como poluidor-pagador: isto pelo volume potencial de emissão de GEE's.

B). Como mecanismo de compensação: pela possibilidade de fornecer certificados no mercado de carbono através da captação e destinação energética dos GEE's.

Segundo IPCC (2006), podem ser consideradas as seguintes alternativas com relação aos valores de venda de crédito de carbono:

* valor de mercado – Valor do crédito de carbono seguindo padrão atual de mercado, ou seja, US\$ 6,00 por tCO₂e .

* valor mínimo por tCO₂e – Valor mínimo que poderia ser comercializado pelos créditos de carbono vendido tendo em vista um valor presente líquido igual a zero, e uma variação na taxa interna de retorno (TIR) de 2 a 13%.

Instalação de sistema de captação de gás, com geração de energia elétrica:

- venda de Créditos de Carbono (tCO₂e/ano) Tocha -excesso do gerador;
- créditos de Carbono (tCO₂e/ano) Queima no Gerador;
- créditos de Carbono (tCO₂e/ano) Deslocamento.

4.7.2 Financiamento de projetos em MDL no Brasil e no exterior

A viabilidade econômica prevê a simulação de custos para implantar a captação e aproveitamento energético conforme apontado neste estudo bem como as fontes financiadoras, conforme avaliação descrita no Quadro 8 e Anexo C.

Quadro 8 – Possíveis fontes financiadoras de projetos em MDL

	FONTE FINANCIADORA
1	Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA
2	Redução de tarifas pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL
3	Fundo Nacional Sobre Mudanças Climáticas (Fundo Clima)
4	Plano Nacional Sobre Mudança do Clima - PNMC

Fonte: Atlas (2009)

4.7.3 Investimento econômico no ACRN: cenários e perspectivas

Para a análise do investimento econômico no ACRN foram utilizados os seguintes cenários: créditos de carbono, auto geração e comercialização de eletricidade.

Em relação aos benefícios econômicos, o município, concessionárias e/ou investidores privados do aterro poderão receber pelo fornecimento de energia elétrica para a rede de energia local ou venda direta a consumidores e pela venda de créditos de carbono obtidos com a certificação do projeto. Cabe destacar a necessidade de definir os direitos sobre o biogás em legislação municipal específica, este ato é imprescindível para nortear a aplicação do plano de financiamento e investimentos na planta operacional.

4.7.4 Comercialização de energia elétrica em Minas Gerais

Conforme compromisso da empresa com as mudanças climática, CEMIG (2017), afirma já comercializar energia proveniente do biogás, composto por metano e gás carbônico e produzido pela decomposição de resíduos sólidos de aterro sanitário. Maior detalhamento pode ser analisado no Anexo D.

Segundo CEMIG (2017), estima-se para as simulações os valores de R\$ 135,00 (cento e trinta e cinco reais) por MWh. Existe incerteza considerável em relação aos preços que poderiam ser obtidos por qualquer empreendedor, e os programas de incentivo governamental estão sujeitos a alterações.

A comercialização de energia proveniente de fontes alternativas é uma realidade e desponta como um mercado a ser ampliado, conforme aponta CEMIG (2017).

O mercado brasileiro de energia elétrica é dividido em modalidades, sendo elas Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e Ambiente de Contratação Livre (ACL). No ACR a comercialização é formalizada através de contratos bilaterais regulados, realizados entre agentes vendedores (comercializadores, geradores, produtores independentes ou autoprodutores) e compradores (distribuidores) por meio de leilões de compra e venda de energia, promovido pelo Ministério de Minas e Energia (MME). CEMIG (2017).

Época (2016), noticiou a contratação entre a CEMIG e a operadora do aterro sanitário de Uberlândia para comercialização de 1,100 MWh/mês e previsão de contratação com o aterro sanitário de Belo Horizonte para comercialização de 2,800 MWh/mês. As atividades de contratação ficam a cargo da Superintendência de Compra e Vendas de Energia no Atacado da CEMIG.

Conforme CEMIG (2018) faz parte do mercado livre o consumidor especial, que tem uma demanda menor de energia, entre 500 kW e 3000 kW, e esteja conectado a qualquer tensão, desde que contrate energia proveniente de fontes renováveis como as geradas em pequena central hidrelétrica (PCH), usina térmica, proveniente da biomassa, eólica, solar e biogás.

4.7.5 Determinação do ZWI

Zaman e Lehmann (2013) desenvolveram o *Zero Waste Index* (ZWI). Este índice consiste numa metodologia que estima os impactos ambientais de cada sistema de gestão e tratamento dos RSU. Por ele é calculado o não uso de água, de energia, de matéria-prima e a não emissão de gás carbônico de cada forma ao sistema de gestão de tratamento aplicado.

Tratamentos mais eficientes, como a reciclagem, resultam na economia de recursos e apresentam melhores resultados no ZWI. Segundo Zaman e Lehmann (2013), a Equação 6 é usada para calcular o ZWI:

$$\text{Zero waste index} = \frac{\sum \text{Quantidade de resíduo manejado} * \text{coeficiente p/ tipo de sistema}}{\text{Quantidade total de resíduos gerados}} \quad \text{Eq. (6)}$$

4.7.6 Determinação da estimativa da redução de emissão de GEE's

A estimativa da quantidade de redução de emissão de gases de efeito estufa usado neste estudo foi realizada pelos cálculos com a Equação 7.

$$ER_y = BE_y - PE_y \quad \text{Eq. (7)}$$

Em que:

ER_y = Reduções de emissões no ano y (tCO₂e/ano)

BE_y = Emissões da linha de base no ano y (tCO₂e/ano)

PE_y = Emissões do projeto no ano y (tCO₂e/ano)

Os dados obtidos com o uso da Equação 7, possibilita aprofundar na análise de viabilidade ambiental bem como na classificação dos projetos junto a fundos investidores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Gerenciamento de resíduos sólidos em Ribeirão das Neves

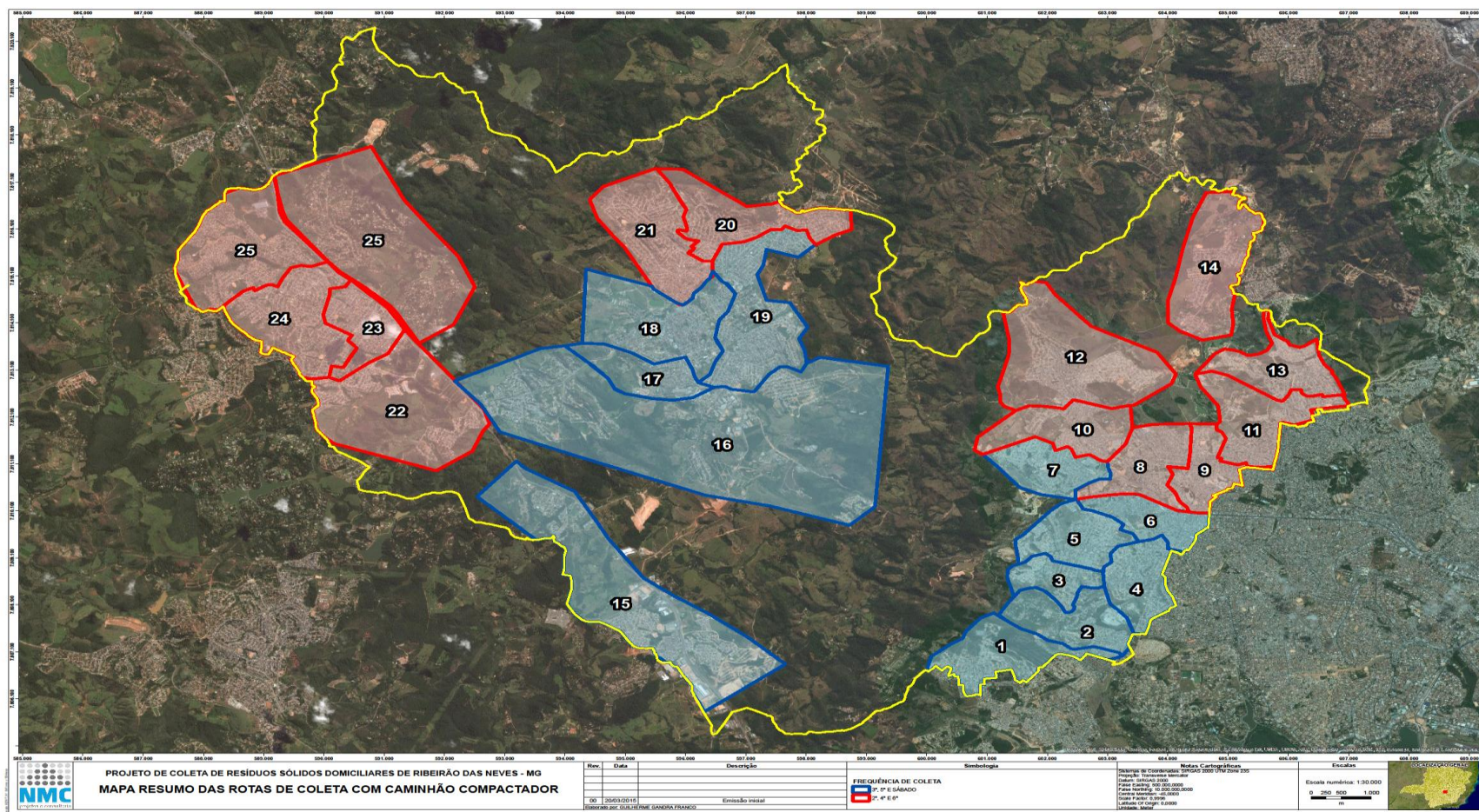
Os dados preliminares foram obtidos através de visitas à Prefeitura Municipal de Ribeirão das Neves, com atendimento realizado pela Secretaria Municipal de Planejamento e Obras Públicas que atualmente engloba ações no gerenciamento do resíduo sólido urbano no âmbito municipal e demais ações ambientais.

Foi cedido arquivo com o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, que aponta o PMGIRS (2015):

O serviço de coleta domiciliar no município de Ribeirão das Neves é realizado pela empresa Construtora Império, desde meados de abril de 2014. A coleta é feita com a utilização de 10 caminhões compactadores com capacidade de carga para 15 m³. As rotas atendem todo o município com frequência de coleta em dias alternados, apenas a região central e algumas vias, são atendidas com frequência diária. A coleta nas unidades prisionais é feita com 3 caminhões basculantes que também prestam apoio em algumas rotas, as quais têm problemas de acesso pelos caminhões compactadores como é o caso do bairro Bispo de Maura. De acordo com dados do IBGE de 2010, Ribeirão das Neves possui 294.153 habitantes na área urbana e geração de 5,6 toneladas de resíduos por mês o que acusa uma geração per capita de 0,6 kg/hab./dia. (PMGIRS, 2015)

Na Figura 16 são representadas as regiões atendidas pela coleta domiciliar, com um total de 26 rotas organizadas conforme malha viária. Em relação aos horários da coleta domiciliar, ocorre variação entre os períodos diurnos e noturnos, conforme disponibilidade da equipe e dos caminhões de coleta.

Figura 16 - Regiões de atendimento de coleta domiciliar no Município de Ribeirão das Neves



*Azul (1 – 15)– 3ª, 5ª e sábado ***Vermelho (16 – 25) – 2ª, 4ª e 6ª feiras ***Amarelo – indica o contorno da cidade de Ribeirão das Neves

Fonte: NMC – PMGIRS (2016)

Em relação à gestão dos resíduos provenientes da construção civil (RCC) foi apontada a necessidade de destinação correta, o que foi executado pela PMRN no ano de 2016, com a criação de dois pontos de recebimento para tais resíduos e a adoção de fiscalização e multa para moradores ou empresas clandestinas que realizam a deposição do entulho junto a pontos específicos e difusos na cidade. Na Tabela 4, encontram-se os dados registrados pela Prefeitura dos BDV, no ano de 2017. Cabe ressaltar que estes dados foram usados para gerar os cálculos estimativos, por ser o registro mais atualizado e com maior precisão avaliada pela autora. O modelo do BDV encontra-se no Anexo C..

Tabela 4 - Dados dos boletins diários veiculares em 2017

MÊS	QUANTIDADE RSU/ton.
Janeiro	8.427,75
Fevereiro	5.886,71
Março	6.160,00
Abril	6.026,30
Mai	6.705,77
Junho	4.938,00
Julho	6.247,00
Agosto	4.555,00
Setembro	4.693,00
Outubro	4.938,00
Novembro	5.154,00
Dezembro	6.214,00
TOTAL ANUAL	69.945,53

Fonte: PMRN (2018)

Pode-se concluir com os dados dos boletins diários veiculares para o ano de 2017, uma população estimada em 328.871 habitantes, que a geração *per capita*/dia foi de 0,537 kg/habitante/ano e este valor foi usado para estimar a geração de RSU ao longo do período proposto para aproveitamento energético do biogás gerado no ACRN.

Em relação ao objeto do presente estudo, o PMGIRS, descreve ações para mitigação das emissões dos gases de efeito estufa, com seis itens,

- a) redução do transporte mecanizado de todos os tipos de resíduos visando redução de emissões;
- b) captação dos gases resultantes da decomposição dos resíduos úmidos, nos aterros sanitários existentes (prazo de geração de gases estimado em 16 e 50 anos);

- c) captação dos gases provenientes da decomposição acelerada dos resíduos úmidos urbanos e rurais, por meio de biodigestores (prazo de geração de gases estimado em algumas semanas);
- d) disposição de resíduos da coleta convencional em aterro sanitário exclusivamente quando já estabilizados por meio de biodigestores;
- e) maximização dos processos de compostagem, antecedendo-os de biodigestão sempre que possível;
- f) aproveitamento energético (geração de energia elétrica, vapor, etc) dos gases produzidos na biodigestão de resíduos úmidos urbanos e rurais. (PMGIRS, 2015)

No item f do PMGIRS encontra-se descrito o apoio ao aproveitamento energético de gases de efeito estufa, com a captação destes, indicado no item c, o que reforça e enaltece a importância da realização do presente trabalho desta dissertação, bem como a necessidade de implantação da tecnologia indicada.

5.2 Amostragem de resíduos sólidos conforme FEAM (2015)

A FEAM enviou a todos os municípios o Ofício Circular nº003/2015 GERUB/FEAM/SISEMA, que solicitava a realização da determinação de geração *per capita* e composição gravimétrica. A caracterização de resíduos sólidos urbanos para municípios do Estado de Minas Gerais, segundo FEAM (2015), com objetivo de caracterizar os RSU dos municípios de modo a se ter um diagnóstico quantitativo, qualitativo com metodologia simplificada. A então administração do município de Ribeirão das Neves não enviou os dados. A autora optou por realizar uma amostragem com a metodologia proposta por FEAM (2015) que é baseada em uma estratificação sócio-econômica de cinco pontos amostrais, no caso, bairros com características específicas e indicada no Quadro 9.

Quadro 9. Critérios de estratificação sócio-econômica segundo FEAM (2015)

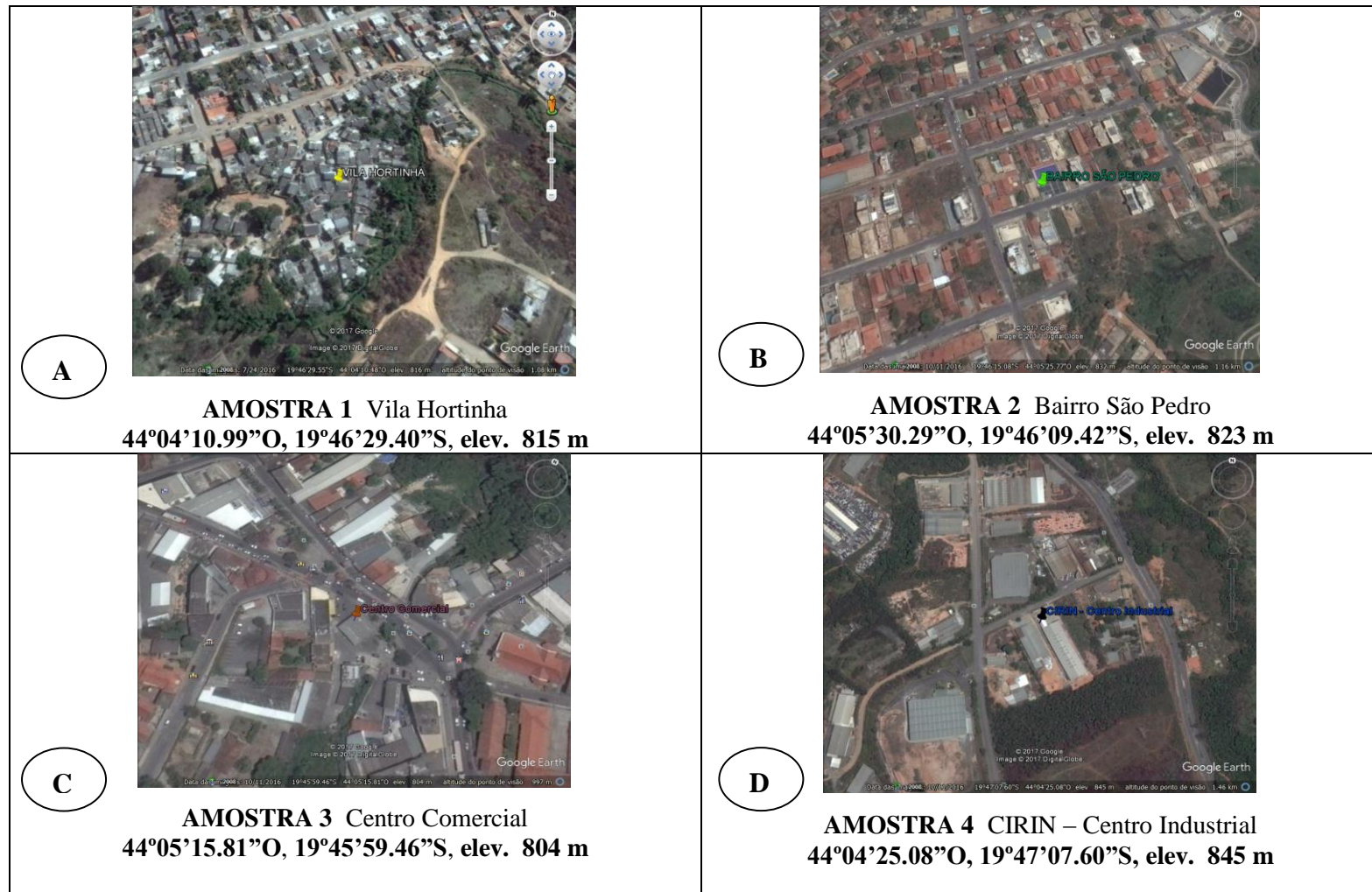
AMOSTRA	ESTRATIFICAÇÃO SÓCIO-ECONÔMICA	LOCALIDADE	POPULAÇÃO EM 2015*
1	Bairro residencial com baixo poder aquisitivo típico	Vila Hortinha	309
2	Bairro residencial com médio a alto poder aquisitivo típico	Bairro São Pedro	1513
3	Bairro comercial típico	Centro Comercial	146
4	Bairro manufatureiro típico	CIRIN – Centro Industrial	Não informado

Fonte: *PMGIRS (2016, p. 37 e 38)

Para a realização da composição gravimétrica foi necessária a utilização e o preparo dos seguintes materiais: luvas para coleta e triagem, balança, sacos plásticos para separação dos materiais, bacias para pesagem, veículo para coleta, combustível, local para despejar o material coletado, prancheta, papel com descritores, caneta e recipientes para descarte dos resíduos após os trabalhos. Foi realizada a tara da balança durante as pesagens. Foi traçada a rota das coletas com horários compatíveis. As amostras foram acondicionadas em local apropriado e ao fim de cada período houve a separação e pesagem dos resíduos, durante uma semana os dados da pesagem de cada tipo de resíduo foram somados, obtido a média para cada um deles e realizados demais cálculos pertinentes. Houve a participação de três pessoas com divisão de tarefas e auxílio mútuo.

Determinou-se a retirada de 4 amostras em bairros típicos, conforme Figura 17, onde encontram-se representados os pontos geográficos dos mesmos. No item A (amostra 1), Vila Hortinha, observa-se um adensado de vegetação em área de preservação permanente, o que indica a ocupação irregular e ausência de urbanização, as vias são de terra e a coleta dos resíduos ocorre com uso de carrinhos de mão por parte dos funcionários da empresa contratada.

Figura 17 - Localização dos pontos de coletas das amostras



Fonte: Adaptado de Google Earth (2017)

As amostras B, C e D, da figura 16 são representadas por bairros com as vias urbanizadas e contorno regular. Pela cobertura das edificações constata-se um padrão de construção planejado nas imagens das amostras dois e três. Na imagem da amostra quatro é possível visualizar as coberturas em forma de galpões e trecho da LMG 806, o que facilita o acesso e a coleta dos resíduos.

Foi realizada a amostragem na origem, nas residências, em dias e momentos antes da coleta domiciliar, em bairros com vias urbanizadas atualmente a coleta é realizada com caminhão-prensa, durante os períodos diurnos e noturnos. No município não existe coleta seletiva. Normalmente ocorre a ação de diversos catadores autônomos e informais, entretanto, a amostragem foi realizada efetuando-se a coleta antes dos catadores passarem pelas rotas.

A amostragem foi realizada no período de uma semana, compreendido entre 20 e 26 de agosto de 2017. Cabe destacar que as datas históricas registradas são: a Festa de Santana, no mês de julho, no distrito de Justinópolis e a Festa de Agosto, na região central do município. O fluxo de pessoas é restrito aos munícipes. Além disso, com baixa adesão e a festa não acontece todos os anos. Foi pontuado que a geração dos resíduos nestes dias, quando acontecem as comemorações, são absorvidos pela coleta domiciliar regular, não foi considerado evento de grande impacto na geração dos RSU, fato determinante para não considerar uma quinta amostragem.

Foi realizado o quarteamento dos resíduos das quatro amostras, recolhido um peso aproximado de 200 kg, a seguir a separação dos resíduos, sua pesagem para cada ponto amostral.

Segundo FEAM (2016), a geração *per capita* no Estado de Minas Gerais, para o ano de 2015 foi de 0,680 kg/hab./dia, com apuração de dados após o envio dos relatórios dos municípios, conforme solicitação deste órgão estadual.









Após a aplicação da metodologia de coleta, tratamento e análise dos dados descrita no relatório citado, chegou-se ao resultado de 0,680 kg/hab./dia de geração per capita de RSU no estado de Minas Gerais no ano de 2015 (FEAM, 2016)

Atualmente o município de Ribeirão das Neves não participa de nenhum tipo de consorciamento, todos os resíduos gerados são dispostos no ACRN, exceto aqueles que a legislação determina disposição especial. Durante os procedimentos de coleta houve o registro fotográfico.

Na Figura 18 (a e b), da amostra 1, observa-se irregularidade de acesso aos recipientes, o que dificulta a coleta pelo gari, bem como possibilita o acesso de roedores e demais animais. Na amostra dois está demonstrada a preocupação dos munícipes em instalar um local apropriado para colocar os resíduos e o uso de saco de lixo para acondicionamento do mesmo. Na amostra três constata-se a disposição irregular realizada na calçada, isto traz empecilho à circulação de transeuntes, bem como facilita o acesso de roedores e demais animais, possibilita que os sacos de lixo sejam rasgados e o mesmo espalhado pela rua.

Ainda consta na Figura 18 (g e h), amostra 4, amostra 2 (c e d), a disposição apresenta-se de forma acessível para o gari, acondicionada em recipientes apropriados, mas com resíduo depositado próximo ao poste de iluminação. Na amostra 3 (e, f) constata-se o uso de recipientes abertos e sacos de resíduos espalhados ao chão, na calçada, o que impede a passagem de pedestres e expõe os resíduos ao acesso de roedores e outros animais.

Figura 18. Registro de itens da disposição dos resíduos pelos munícipe

AMOSTRA 1 Vila Hortinha	AMOSTRA 2 Bairro São Pedro	AMOSTRA 3 Centro	AMOSTRA 4 Cirin
<p data-bbox="331 507 394 603">A</p>  <p data-bbox="443 746 645 778">Local improvisado</p>	<p data-bbox="779 507 842 603">C</p>  <p data-bbox="846 754 1104 786">Presença de recipientes</p>	<p data-bbox="1205 507 1267 603">E</p>  <p data-bbox="1234 754 1641 786">Recipientes com excesso de resíduos</p>	<p data-bbox="1704 507 1767 603">G</p>  <p data-bbox="1778 762 2040 794">Recipientes sem tampa</p>
<p data-bbox="331 943 394 1038">B</p>  <p data-bbox="443 1190 645 1222">Local improvisado</p>	<p data-bbox="779 943 842 1038">D</p>  <p data-bbox="819 1222 1133 1254">Resíduos fora da recipientes</p>	<p data-bbox="1205 943 1267 1038">F</p>  <p data-bbox="1249 1222 1626 1254">Resíduos espalhados pela calçada</p>	<p data-bbox="1704 943 1767 1038">H</p>  <p data-bbox="1778 1222 2040 1254">Recipientes sem tampa</p>

Fonte: Autora (2017)

Na Figura 19, são caracterizados os resíduos da amostra 2, bairro São Pedro, nas imagens constata-se pelas especificidades das embalagens a influência do padrão de consumo de produtos de qualidade elevada e preços compatíveis com a faixa de estratificação sócio-econômica de médio a alto poder aquisitivo.

Figura 19 - Resíduos da amostra 2: bairro São Pedro

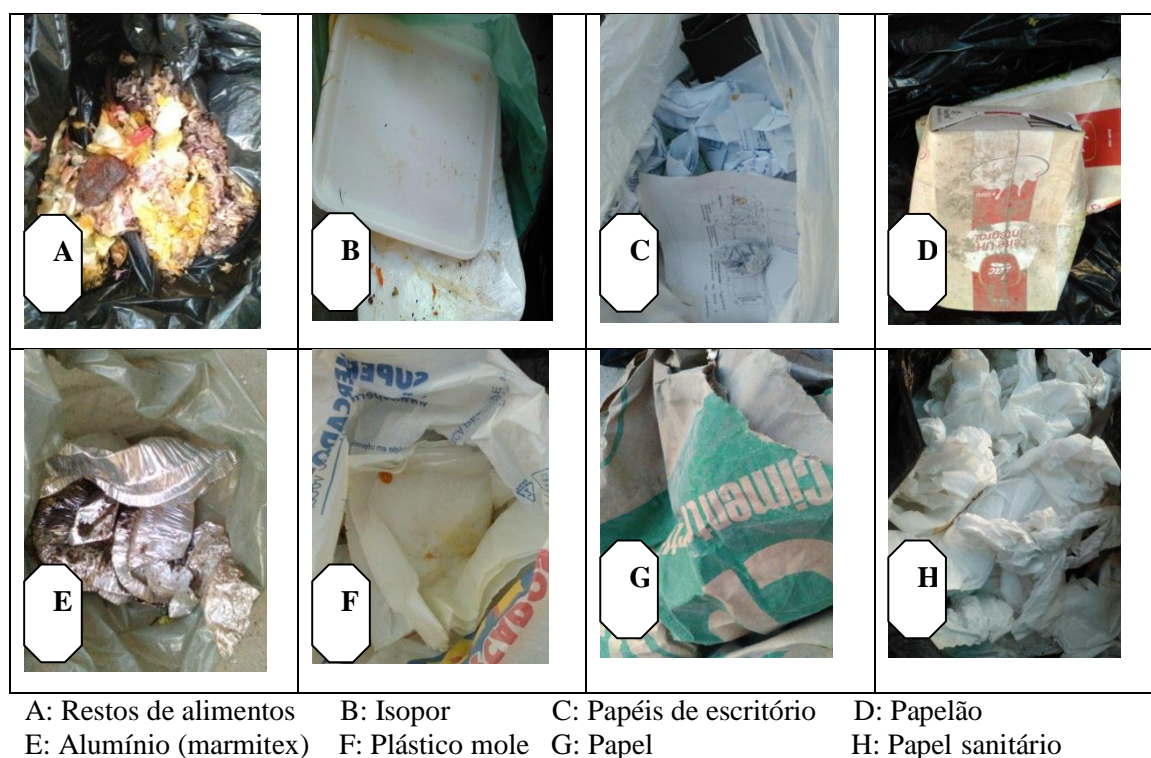


A: Garrafas pet B: Papéis C: Papelão D: Plástico diverso
E: Restos de alimentos F: Madeira e couro G: Tetra pack H: Fraldas descartáveis

Fonte: Autora (2017)

Na Figura 20, observa-se resíduos da amostra 4, imagens apontam embalagens com perfil condizente com consumo de uma população que obedece aos horários de trabalho das empresas instaladas no CIRIN. Os resíduos apresentam características de um padrão de consumo voltado para suprir as necessidades dos trabalhadores, bem como, de escritório e atividades correlatas com as empresas. É importante ressaltar que todas as empresas realizam coleta seletiva dos resíduos oriundos dos processos industriais que executam e os mesmos são encaminhados para destinação conforme suas especificidades.

Figura 20 - Resíduos da amostra 4: Centro Industrial



Fonte: Autora (2017)

Houve a categorização em quinze tipos distintos, subdivididos em quatro possíveis destinações adequadas de tratamento de RSU: compostagem, reciclagem, co-processamento e logística reversa. No município de Ribeirão das Neves, nenhuma das possibilidades é atendida e os RSU são coletados sem nenhum tipo de separação. Este fato reforça o apontado na literatura para a maioria dos municípios brasileiros, bem como revela que o ACRN recebe a quantidade total de matéria orgânica e outros resíduos que são passíveis de sofrerem decomposição e conseqüentemente, gerarem o biogás, mas também resíduos que poderiam ter uma destinação adequada e até mesmo impedir a presença de substâncias e produtos nocivos ao processo de decomposição. O cálculo do percentual de cada categoria PC (%) foi realizado conforme Equação 8.

$$P C (\%) = [\text{peso de cada fração (Kg)} / \text{peso total da amostra (Kg)}] \times 100 \quad (\text{Eq. 8})$$

Os dados da composição gravimétrica e do percentual por categorias e peso total das amostras, encontram-se dispostos nas Tabelas 5 a 9..

Tabela 5 - Categorias de resíduos para compostagem

Categorias	AMOSTRA 1	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 4	MÉDIAS	
	(kg)	PC%	(kg)	PC%	(kg)	PC%	(kg)	PC%	(kg)	PC%
Restos de comida ¹	54	26,34	65	29,47	61	29,33	38	18,45	54,5	25,9
Restos de poda ²	3	1,46	6	2,89	4	1,92	15	6,80	7,0	3,27

¹Restos alimentares, cascas de legumes e frutas.

²Flores, podas de árvores, grama e folhas.

Fonte: Autora (2017)

Tabela 6 - Categorias de resíduos para reciclagem

Categorias	AMOSTRA 1 (kg)	AMOSTRA 1 PC%	AMOSTRA 2 (kg)	AMOSTRA 2 PC%	AMOSTRA 3 (kg)	AMOSTRA 3 PC%	AMOSTRA 4 (kg)	AMOSTRA 4 PC%	MÉDIAS	
									(kg)	PC%
Plástico ³	12	5,85	15	7,73	25	12,01	55	23,79	26,75	10,9
Papelão e papel ⁴	18	8,78	17	8,21	32	15,38	23	11,17	22,5	10,89
Vidro ⁵	9	4,39	15	4,83	12	5,29	14	6,80	12,5	5,33
Metal ferroso ⁶	2	0,98	6	2,89	4	1,92	2	0,97	3,5	1,69
Me tal não ferroso ⁷	0	0,0	3	1,45	2	0,96	2	0,97	1,75	1,13

³ Sacos, sacolas, embalagens de refrigerantes, água e leite, recipientes de produtos de limpeza, esponjas, isopor, utensílios de cozinha, látex, sacos de rafia

⁴ Caixas, revistas, jornais, cartões, papel, pratos, cadernos, livros, pastas, embalagens longa vida

⁵ Copos, garrafas de bebidas, pratos, espelho, embalagens de produtos de limpeza, embalagens de produtos de beleza, embalagens de produtos alimentícios

⁶ Palha de aço, alfinetes, agulhas, embalagens de produtos alimentícios

⁷ Latas de bebidas, restos de cobre, restos de chumbo, fiação elétrica

Fonte: Autora (2017)

Tabela 7 - Categorias de resíduos para co-processamento

Categorias	AMOSTRA 1 (kg)	AMOSTRA 1 PC%	AMOSTRA 2 (kg)	AMOSTRA 2 PC%	AMOSTRA 3 (kg)	AMOSTRA 3 PC%	AMOSTRA 4 (kg)	AMOSTRA 4 PC%	MÉDIAS	
									(kg)	PC%
Pedra, terra, louça e cerâmica ⁸	35	17,07	14	6,28	21	9,62	10	4,85	20,0	9,46
Madeira ⁹	13	6,34	10	3,86	18	7,69	15	6,31	14,0	6,05
Couro e borracha ¹⁰	5	2,44	9	1,45	2	0,96	4	1,94	5,0	1,69
Têxtil ¹¹	3	1,46	4	1,93	2	0,96	3	1,46	3,0	1,45

⁸ Vasos de flores, pratos, xícaras, restos de construção, terra, tijolos, cascalho, pedras decorativas

⁹ Caixas, tábuas, palitos de fósforo, palitos de picolé, tampas, móveis, lenha

¹⁰ Bolsas de couro, mochilas, sapatos, tapetes, luvas látex, cintos, balões

¹¹ Aparas, roupas, panos de limpeza, pedaços de tecido, bolsas de pano

Fonte: Autora (2017)

Tabela 8 - Categorias de resíduos para logística reversa/ aterro sanitário ou outra destinação/ disposição *

Categorias	AMOSTRA 1	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 4	MÉDIAS	
	(kg)	PC%	(kg)	PC%	(kg)	PC%	(kg)	PC%	(kg)	PC%
Contaminante biológico ¹²	35	17,07	41	19,81	18	8,17	28	11,65	24,4	14,18
Contaminante químico ¹³	9	4,39	6	2,89	7	2,88	5	2,43	6,75	3,15
Equipamento eletroeletrônico ¹⁴	6	2,93	12	4,35	2	0,96	3	1,46	5,75	2,43
Diversos ¹⁵	1	0,49	7	1,93	5	1,92	2	0,97	3,75	1,33

¹² Papel higiênico, cotonetes, algodão, curativos, gases e panos com sangue, fraldas descartáveis, absorventes higiênicos, seringas, lâminas de barbear, cabelos, pêlos, embalagens de anestésicos, luvas

¹³ Pilhas, baterias, medicamentos, lâmpadas, inseticidas, raticida, colas em geral, cosméticos, vidros de esmaltes, embalagens de produtos químicos, latas de óleo de motor, latas com tintas, embalagens pressurizadas, canetas com carga, papel carbono, filme fotográfico

¹⁴ Computadores, laptops, celulares, rádios, liquidificadores, mouses, teclados

¹⁵ Velas de cera, restos de sabão e sabonete, carvão, giz, pontas de cigarro, rolhas, cartões de crédito, lápis de cera, embalagens metalizadas, sacos de aspirador de pó, lixas e outros materiais de difícil identificação

* A metodologia indicada por FEAM (2016) não prevê a separação destes itens

Fonte: Autora (2017)

Tabela 9 - Peso total recolhido para amostragem 7 dias (kg)

AMOSTRA 1 (kg)	AMOSTRA 2 (kg)	AMOSTRA 3 (kg)	AMOSTRA 4 (kg)	PESO TOTAL (kg)
278,1	1.361,7	876,0	612,0	3.127,80

Fonte: Autora (2018)

O peso específico (kg/m^3) foi determinado pela deposição dos resíduos em recipiente de 1m^3 , cuidadosamente acondicionados e a seguir houve a pesagem dos mesmos e o cálculo da média das quatro amostras e o resultado obtido foi de $17,2 \text{ Kg/m}^3$, apontados na Tabela 10.

Tabela 10 - Peso específico das amostras

AMOSTRA 1 Kg/m^3	AMOSTRA 2 Kg/m^3	AMOSTRA 3 Kg/m^3	AMOSTRA 4 Kg/m^3	PEM Kg/m^3
13,4	18,9	19,6	16,9	17,2

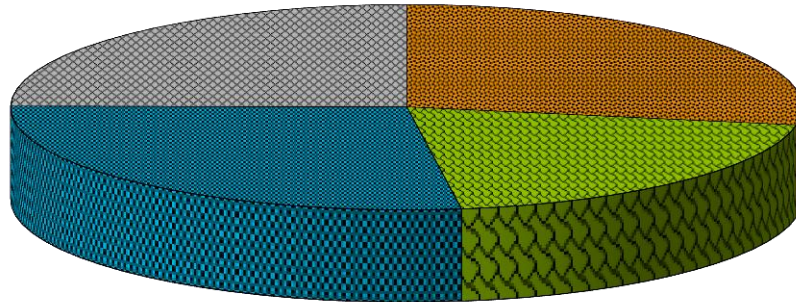
Fonte: autora

Segundo IPEA (2012), os dados gerais nacionais, para o ano de 2016 foram: 57,41% de matéria orgânica (sobras de alimentos, alimentos deteriorados, lixo de banheiro), 16,49% de plástico, 13,16% de papel e papelão, 2,34% de vidro, 1,56% de material ferroso, 0,51% de alumínio, 0,46% de inertes e 8,1% de outros materiais.

Comparando os dados nacionais e municipais conclui-se que, com a ausência de coleta seletiva na totalidade de Ribeirão das Neves, os municípios têm destinado ao aterro controlado, resíduos passíveis de reciclagem.

Estes dados são relevantes para a realização de projetos de coleta seletiva, realização de compostagem, reciclagem, co-processamento e destinação ao aterro sanitário, quando em operação, somente os resíduos com tal indicação, tais como contaminantes biológicos e de difícil identificação. Nas Figuras 21 a 25, os dados foram condensados em quatro potenciais passíveis de destinação.

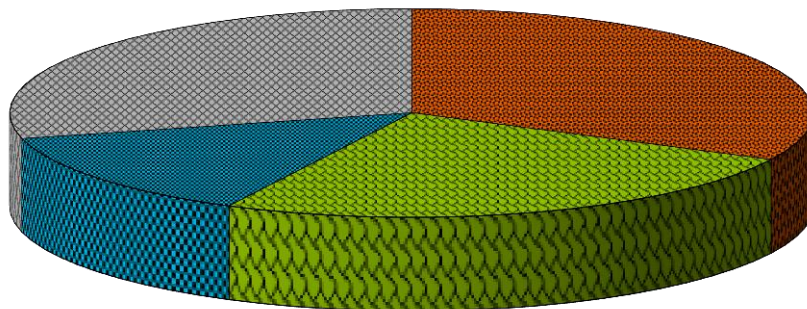
Figura 21 – Possíveis destinações das categorias de RSU
Amostra 1: Vila Hortinha



■ COMPOSTAGEM 27,8% ■ RECICLAGEM 20%
■ CO-PRCESSAMENTO 27,32% ■ LOGÍSTICA REVERSA 24,88%

Fonte: Autora (2017)

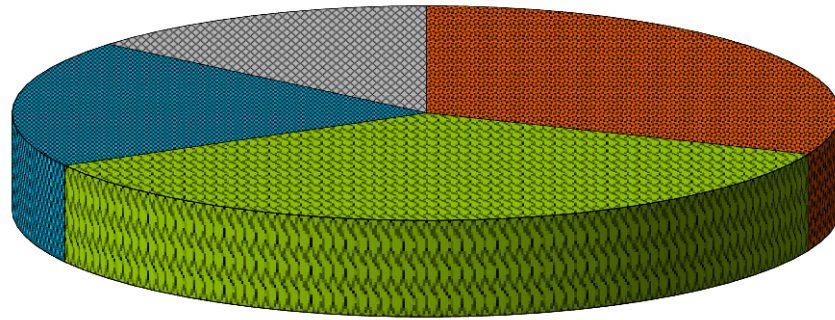
Figura 22 – Possíveis destinações dos RSU
Amostra 2 – bairro São Pedro



■ COMPOSTAGEM 32,39% ■ RECICLAGEM 25,11%
■ CO-PROCESSAMENTO 13,52% ■ LOGÍSTICA REVERSA 28,98%

Fonte: Autora (2017)

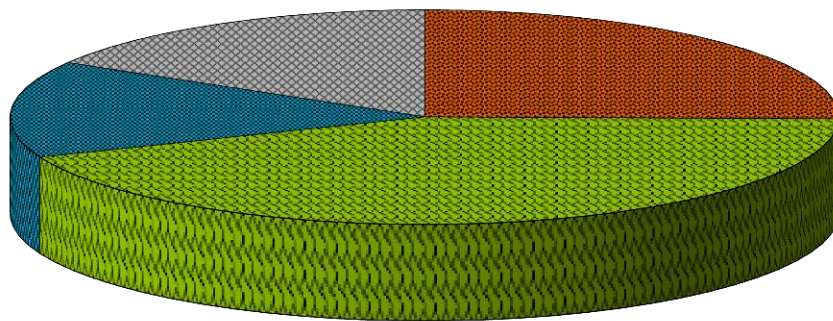
Figura 23 – Possíveis destinações dos RSU
Amostra 3: Centro Comercial



■ COMPOSTAGEM 31,28% ■ RECICLAGEM 35,56%
■ CO-PROCESSAMENTO 19,23% ■ LOGÍSTICA REVERSA 13,93%

Fonte: Autora (2017)

Figura 24 - Possíveis destinações dos RS
Amostra 4: CIRIN – Centro Industrial



■ COMPOSTAGEM 25,25% ■ RECICLAGEM 43,50
■ CO-PROCESSAMENTO 14,56% ■ LOGÍSTICA REVERSA 16,51%

Fonte: Autora (2017)

A heterogeneidade é uma das características dos RSU, com expressa variação em detrimento à estratificação sócio-econômica da população. A composição gravimétrica é um

parâmetro que expressa qualita e quantitativamente os componentes do RSU, permitindo diversas simulações que possibilitam um planejamento eficiente no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, bem como fornece dados para cálculos de geração de gases e viabilidade de projetos correlatos.

A utilização da metodologia proposta em FEAM (2016), possibilita a análise comparativa de amostras dentro do próprio município, os dados levantados da composição gravimétrica permitem o planejamento adequado para cada categoria caracterizada, a projeção de RSU destinados ao aterro, bem como a elaboração e execução de ações de coleta seletiva específicas em cada localidade.

1. Amostragem de resíduos sólidos conforme ABNT NBR 10.007:2004

Procedeu-se à determinação gravimétrica segundo especificações da ABNT – NBR 10.007/2004 com os RSU que chegaram no ACRN. Foi realizado o quarteamento da amostra do primeiro caminhão de resíduos até obter-se o peso de 200 kg de um total de 8.830 kg., conforme dados constantes na Tabela 12 e Figuras 25 a 28.

Figura 25 - Recebimento do montante de RSU para amostragem



Fonte: Autora (2018)

Figura 26 – Preparo para quarteamento



Fonte: Autora (2018)

Figura 27 – Segregação das frações de resíduos para a pesagem



Fonte: Autora (2018)

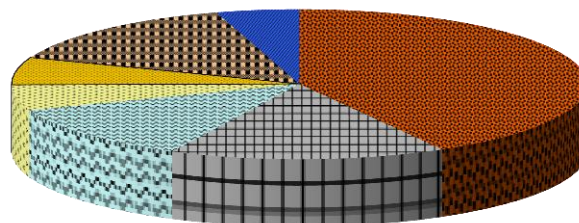
Tabela 11 - Resultados gravimétricos de RSU no ACRN segundo metodologia ABNT- NBR 10.007/2004

RESÍDUO	Kg	%	RESÍDUO	Kg	%
Resíduo alimentar	79,70	39,85	Metal ferroso	3,81	1,91
Resíduo de poda	3,80	1,9	Alumínio	1,50	0,75
MATÉRIA ORGÂNICA	83,5	41,75	Outros metais	6,54	3,27
Resíduo de banheiro	6,71	3,36	METAIS	11,85	5,93
Papelão	10,70	5,35	Entulho	12,02	6,01
Papel fino	4,62	2,31	Espuma	3,85	1,93
Embalagem longa vida	2,11	1,06	Isopor	2,01	1,01
Papel misto	6,91	3,46	Cerâmica	2,36	1,18
PAPEL	31,05	15,53	Madeira	1,42	0,71
Plástico mole/filme	12,51	6,26	Tecido	2,83	1,42
Plástico rígido	4,85	2,43	Borracha	2,91	1,46
PET	6,89	3,45	Couro	1,76	0,88
PLÁSTICO	24,13	12,07	INERTES	29,16	14,58
Vidros diversos	10,99	5,50	Não identificáveis	9,32	4,66
VIDRO	10,99	5,50	TOTAL	200	100%

Fonte: Autora (2018)

Cabe destacar o valor de 41,75% de fração de matéria de orgânica destinada ao aterro municipal. Esta percentagem é compatível com parâmetros significativos para geração de biogás através da ação decompositora realizada pelos microorganismos presentes no confinamento de componentes desta categoria de RSU.

Figura 28: Porcentagem das categorias presentes na composição gravimétrica dos RSU destinados ao ACRN



■ MATÉRIA ORGÂNICA 41,75% ■ PAPEL 15,53%
■ PLÁSTICO 12,07% ■ VIDRO 5,45%
■ METAIS 5,93% ■ INERTES 14,58%
■ OUTROS 4,69%

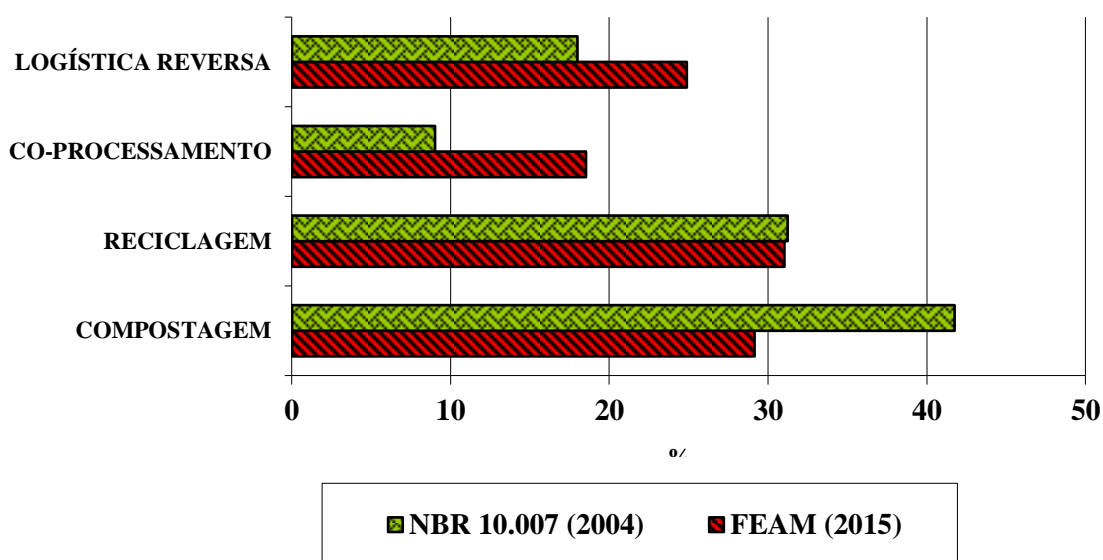
Fonte: Autora, 2018

Com os dados obtidos na determinação gravimétrica, fica evidenciado o valor de (38,98%) é constituído de material com possibilidade para destinação de reciclagem, logística reversa, co-processamento e compostagem (41,7%) de matéria orgânica, que é também a predominante.

5.4 Comparação dos resultados das amostragens

Segundo FEAM (2016), dos 853 municípios do Estado somente 353 (41%) enviaram respostas à Feam, 500 (59%) municípios não responderam ao Ofício. O número de respostas que puderam ser aproveitadas na apuração da geração per capita de resíduos sólidos urbanos foi de apenas 170 (20%) municípios, com resultado publicado. O órgão ambiental estadual, propôs uma metodologia simplificada em detrimento à metodologia indicada pela ABNT-NBR 10.007/2004, por considerar a disponibilidade de cada município, cabe ressaltar que a FEAM tem por objetivo com tal simplificação a comparação entre os municípios mineiros e a ABNT NBR 10.007/2004 é uma padronização que efetivamente deve ser seguida para casos específicos e com nível de detalhamento rigoroso. Entretanto, para fins do estudo de caso, a autora procedeu à realização das duas metodologias, os dados comparativos podem ser verificados no Figura 29.

Figura 29 – Composição gravimétrica: FEAM (2015) e ABNT NBR 10.007 (2004)



Fonte: Autora (2018)

Com os resultados obtidos, constata-se as diferenças entre a aplicação das técnicas em: logística reversa (6,89%); co-processamento (9,5%); compostagem (12,59%) e reciclagem (0,2%). Cabe ressaltar o peso total da amostragem geral do estudo da composição gravimétrica, com a metodologia FEAM (2015), o peso total das amostras foi de 3.127,80 kg e com a metodologia NBR 10.007 (2004), o peso total foi de 8.830 kg, em todas as amostragens houve a realização do quarteamento até o quantitativo de 200 kg.

Neste estudo, optou-se considerar os resultados da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos, conforme metodologia NBR 10.007 (2004), por apresentar um quantitativo amostral municipal mais representativo em relação à metodologia proposta por FEAM (2015).

Dessa forma, todos os cálculos do potencial de geração de biogás e as análises das viabilidades ambiental, técnica e econômica foram estimadas com base nos resultados da composição gravimétrica dos RSU de Ribeirão das Neves de acordo com a metodologia proposta pela ABNT NBR 10,007 (2004).

5.5 Resultados da mensuração de CO₂, O₂ e CH₄ no ACRN

Cabe ressaltar que o comportamento geral do biogás no maciço de resíduos ocorre por dispersão do mesmo em múltiplos sentidos e direções, seguindo uma ordem de vazão em todos os pontos da massa contida de RSU, seja para as regiões inferiores, laterais ou superiores, principalmente pela baixa de impermeabilização do solo de contato, bem como ausência de estrutura física para captação e condução do biogás, características presentes nos aterros controlados, conforme indicado na literatura. As medições estimativas foram realizadas 12 anos após o início de deposição de RSU, neste sentido a ação de microorganismos decompositores e metanogênicos encontra-se em atividade e o tempo decorrido sem nenhum tipo de monitoramento inviabiliza a comparação de dados anteriores de mensurações.

Os dados foram obtidos no presente estudo, com o monitoramento de CO₂, O₂ e CH₄ no ACRN, com as medições realizadas em 5 pontos geográficos, com a coleta de três medições de vazões superficiais, durante dois dias, o primeiro dia 22 de novembro de 2017, período sem precipitações e a segunda medição no dia 06 de fevereiro de 2018, logo após o período de precipitações pluviométricas.

Não foi possível realizar a coleta de biogás no interior do maciço de resíduos depositados, houve a coleta e mensuração na superfície conforme os pontos que podem ser identificados na Figura 30.

Figura 30 - Localização dos pontos de mensuração dos gases no ACRN



Ponto 1 - S19,81055° / O44,03408° / 740 m. Ponto 2 - S19,81053 / O44,02800 / 775 m.
Ponto 3 - S19,82032 / O44,0743 / 758. Ponto 4 - S19,71834 / O44,1421 / 752 m.
Ponto 5 - S19,71834 / O44,1421 / 786

Fonte: Autora, modificado Google Earth (2018)

Os resultados obtidos encontram-se dispostos na Tabela 12 e Figuras 31 e 32.

Tabela 12 - Resultados de mensuração dos gases: CO₂, O₂ e CH₄

DATA	Tempo (minutos)	Ponto Localização *	Gás carbônico %	Gás oxigênio %	Gás metano %
22/11/17	5	1	28	50	23
22/11/17	35	1	28	50	23
22/11/17	65	1	28	50	20
média			28	50	22
22/11/17	5	2	32	40	18
22/11/17	35	2	28	40	21
22/11/17	65	2	28	60	26
média			29,33	46,67	21,66
22/11/17	5	3	32	63	19
22/11/17	35	3	28	40	24
22/11/17	65	3	28	38	24
média			29,33	47	22,33
22/11/17	5	4	28	31	26
22/11/17	35	4	28	41	26
22/11/17	65	4	28	39	26
média			28	37	26
22/11/17	5	5	43	30	35
22/11/17	35	5	37	39	27
22/11/17	65	5	36	39	27
média			38,67	36	29,67
6/02/18	5	1	35	48	18
6/02/18	35	1	28	40	20
6/02/18	65	1	28	40	18
média			30,33	42,67	18,67
6/02/18	5	2	32	68	24
6/02/18	35	2	28	62	24
6/02/18	65	2	27	34	24
média			29	54,67	24
6/02/18	5	3	30	39	23
6/02/18	35	3	28	35	24
6/02/18	65	3	32	64	24
média			30	46	23,67
6/02/18	5	4	36	36	19
6/02/18	35	4	36	41	19
6/02/18	65	4	34	42	19
média			35,33	39,67	19
6/02/18	5	5	37	36	25
6/02/18	35	5	36	35	27
6/02/18	65	5	12	36	27
média			28,33	35,67	26,33

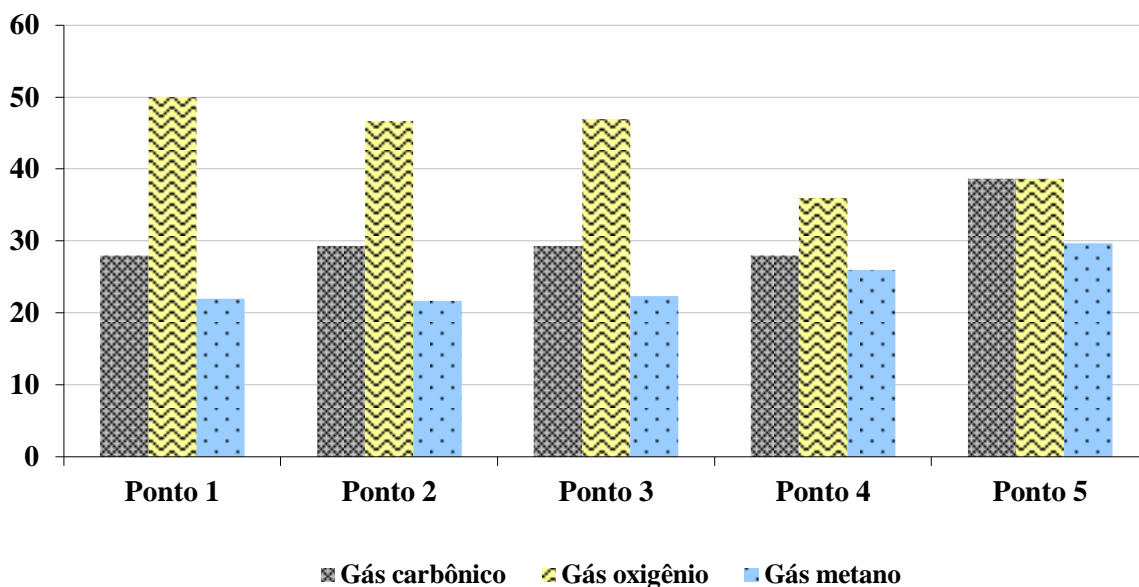
Datas: 22/11/2017 Temperatura ambiente: 28°
Umidade relativa do ar ambiente: 67%
06/02/2018 Temperatura ambiente: 26°
Umidade relativa do ar ambiente: 76%

Fonte: Autora, 2018

Audibert (2011) realizou ensaios de superfície com placa de fluxo, e obteve os dados de concentração de CH₄, que variou de 2,1% a 42% (média de 16,3%), a de CO₂ que variou de 0,8% a 50% (média de 17,1%) e a de O₂ entre 0,6% a 19,7% (média de 12,9%), levando-o a concluir que estes valores são compatíveis com alto teor de percolação de águas pluviais e inibição da fase anaeróbica.

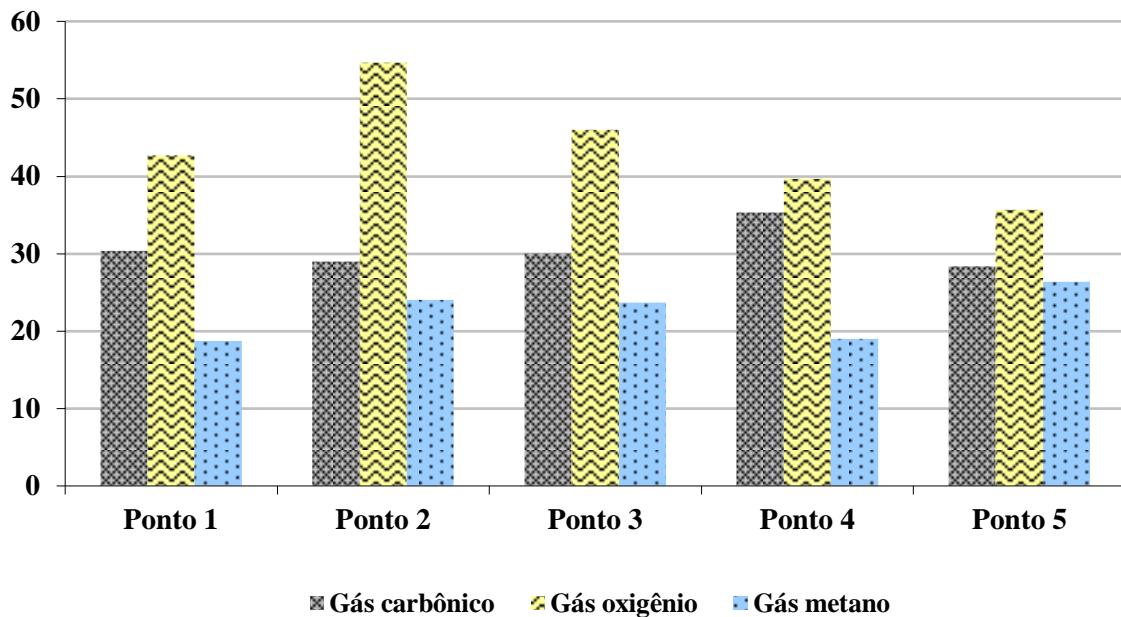
A mensuração do gás oxigênio, demonstrou valores comparativos mais elevados dos três componentes, este fato relaciona-se à metodologia de mensuração superficial, onde a proximidade com a atmosfera circulante favorece maiores teores do gás oxigênio, não necessariamente relacionados à ação microbiana, mas sim à localização superficial dos pontos de amostragens. O gás metano, por sua vez, apresentou-se com valores comparativos reduzidos, em relação aos outros dois gases, o que é apontado na literatura como indicação de baixo ambiente anaeróbico, o que impede o desenvolvimento e ação de microorganismos metanogênicos, o que pode ser checado em detalhe nas Figuras 31 e 32.

Figura 31 - Mensuração de gases no ACRN: 22/11/2017



Fonte: Autora (2017)

Figura 32 - Mensuração de gases no ACRN: 06/02/2018



Fonte: Autora (2017)

Os dados obtidos no ACRN para CO₂, O₂ e CH₄ nos dois dias de medições, apresentaram uma alteração nos valores. Cabe ressaltar, que o ACRN recebe resíduos desde 2005 e passa por conformação do maciço e adequações nos taludes e vias de acesso. O gás carbônico mostrou-se de geração constante, nos pontos 1, 2, 3 e 5, em ambos os dias, com geração aumentada no ponto 4, no segundo dia, que apresentou um período pós precipitações pluviométricas, o que confirma os resultados da literatura que aponta uma intensificação da ação microbiana e conseqüentemente maior geração de CO₂ na fase aeróbica. Conforme aponta Maldaner (2011), Na fase III (fase ácida), as atividades microbiológicas iniciadas na fase II são aceleradas com a produção de ácidos orgânicos, há liberação de CO₂ e H₂.

5.6 Estimativa da emissão de gás metano – LFG (m³CH₄/ano)

Segundo IPCC (2009), a emissão de metano/ano, o LFG, em m³ pode ser obtido com o uso da Equação 3 descrita neste estudo e com os resultados para o ACRN apontados na Tabela 13 e Apêndice A, cabe ressaltar que, o ACRN recebe RSU até a presente data com previsão para encerrar as atividades de recebimento de RSU no ano de 2019.

Tabela 13 - Dados para cálculos do LFG m³/metano/ano

ANO		R _x toneladas	L ₀ RSU Total m ³ CH ₄ tonelada	e-k(x-T)	LFG m ³ /metano/ano
1	2005	20.082,18	3.413.970,60	-	
2	2006	20.830,11	3.541.118,70		7.759.710.066,00
3	2007	42.100,30	7.157.051,00	2,59	5.046.583.322,00
4	2008	43.861,24	7.456.410,80	2,55	3.335.884.000,00
5	2009	45.057,42	7.659.761,40	2,51	3.465.095.000,00
6	2010	50.963,05	8.663.718,50	2,47	4.362.311.000,00
7	2011	51.549,75	8.763.457,50	2,43	4.391.049.000,00
8	2012	52.117,31	8.859.942,70	2,39	4.414.392.000,00
9	2013	61.106,69	10.388.137,30	2,35	5.966.977.000,00
10	2014	61.782,17	10.502.968,90	2,31	5.995.801.000,00
11	2015	62.430,14	10.599.768,60	2,27	6.006.045.000,00
12	2016	69.351,58	11.789.768,60	2,23	7.293.340.000,00
13	2017	69.945,45	11.899.190,80	2,19	7.296.088.000,00
14	2018	70.639,13	12.008.652,10	2,15	7.295.214.000,00
15	2019	71.283,01	12.118.111,70	2,11	7.290.603.000,00
16	2020	71.926,89	12.227.571,30	2,07	7.282.188.000,00
17	2021	72.570,55	12.336.993,50	2,03	7.269.856.000,00
18	2022	73.214,43	12.446.453,10	1,99	7.253.630.000,00
19	2023	73.858,31	12.555.912,70	1,95	7.233.396.000,00
20	2024	74.502,19	12.665.372,30	1,91	7.209.089.000,00

*k=0,04 (constante)

Fonte: Autora, 2018

Silva *et al* (2013) usou a metodologia proposta pelo IPCC para o aterro controlado de Marabá – PA e chegou-se ao resultado de uma R_x = 3,508 x 10⁶ e um LFG= 4,160 x 10⁷ m³ CH₄/ano, para o ano de 2012. Para o ACRN, no ano correspondente, foi encontrado uma R_x = 5,096 x 10⁶ e o LFG = 4,362 x 10⁷ m³ CH₄/ano, com estimativas deste estudo.

Cabe ressaltar que a LFG é uma estimativa teórica máxima, que presume que existe um nível de umidade adequado para completar a reação química, segundo Atlas (2009). Neste sentido, a avaliação das condições de umidade relativa do ar deve ser levada em consideração, bem como o nível de infiltração no maciço de RSU depositados.

5.7 Estimativa do potencial de geração do metano - L_0

Cabe ressaltar que a L_0 representa o montante total previsto de metano que uma tonelada métrica de resíduos deve gerar ao longo de sua vida útil, segundo Atlas (2016), o valor de L_0 é mais diretamente proporcional ao conteúdo de celulose nos resíduos. No estudo ora apresentado, a autora determinou a L_0 para 9 frações de resíduos, segundo dados da composição gravimétrica e boletins diários veicular registrados no ano de 2017.

Conforme apontado na literatura, o potencial de geração de metano do resíduo foi obtido com cálculos de aplicação da Equação 5 e encontram-se dispostos na Tabela 14.

Tabela 14 - Potencial de geração do metano - L_0

FRAÇÃO DE RESÍDUO CORRESPONDENTE	FRAÇÃO DE RESÍDUO DEPOSITADOS NO ACRN ano 2017 (toneladas)	L_0 m^3CH_4 (para frações de resíduos)
A. Papel e papelão	180.009,60	30.601.632,00
B. Têxtil	13.677,49	2.325.173,30
C. Alimentos	461.904,86	78.523.826,20
D. Madeira	8.229,67	1.399.043,90
E. Borra e couro	10.200,16	1.734.027,20
F. Plástico	139.904,43	23.783.753,10
G. Metal	68.735,15	1.1684.975,5
H. Vidro	63.750,98	10.837.666,6
I. Outros	212.696,46	3.6158.398,2

Fonte: Autora, 2018

Segundo Atlas (2016), a L_0 é parte integrante de métodos estimativos de gás da US-EPA, com valores encontrados pela autora e descritos no Apêndice B, para o ACRN, compreendido o período de 20 anos.

Destaca-se neste ponto, a necessidade de implementação de projetos de coleta seletiva o que promoverá uma deposição percentual em maior quantidade da fração correspondente de maior potencial energético, fração orgânica, que em clima de umidade média compreendida entre 62 – 140 mm de precipitações anuais, adotado neste estudo, foi de 170 m^3/Mg de resíduos, conforme Atlas (2009), além de aumentar a vida útil do aterro.

O potencial de geração de metano para o ano de 2017, (A+B+C+D) foi 112.849.676,00 m^3CH_4 (57,27%) e (E + F + G + H + I) foi de 84.198.820,6 m^3CH_4 (42,73%). Entretanto, as frações (E, F, G e H) poderiam ter uma destinação de maior valoração econômica e ambiental

caso estivessem destinadas para co-processamento, logística reversa e reciclagem, seguindo a literatura e estudos anteriores, conforme indicado no Anexo F.

A geração de energia foi obtida a partir do uso dos resultados da estimativa de gás metano no ACRN, do IPCC e US-EPA, lançados na Equação 5, para cálculo da potência disponível em no aterro em kW/ano, com os valores obtidos descritos na Tabela 15 e comparados na Figura 32 para os anos de 2017 à 2024, período que se propões a instalação e operação do aproveitamento energético no ACRN, com a possibilidade de prorrogação conforme monitoramento e controle da geração de biogás.

Tabela 15 - Estimativa de geração de energia no ACRN segundo IPCC e US-EPA

ANO Temporal	GERAÇÃO DE ENERGIA - ESTIMATIVA IPCC kW/ano	GERAÇÃO DE ENERGIA - ESTIMATIVA IPCC kW/mês	GERAÇÃO DE ENERGIA - ESTIMATIVA IPCC kW/hora	GERAÇÃO DE ENERGIA - ESTIMATIVA US-EPA kW/ano	GERAÇÃO DE ENERGIA - ESTIMATIVA US-EPA kW/mês	GERAÇÃO DE ENERGIA - ESTIMATIVA US-EPA kW/hora
2017	1.463.854,90	121.987,91	169,43	1.660.916,81	138.409,73	192,24
2018	1.605.527,97	133.793,99	185,83	1.634.271,79	136.189,32	189,15
2019	1.751.790,10	145.982,51	202,75	1.576.610,78	131.384,23	182,48
2020	1.902.550,9	158.545,91	220,20	1.545.769,60	128.814,13	178,91
2021	2.057.730,93	171.477,58	238,16	1.513.037,48	126.086,46	175,12
2022	2.971.191,65	247.599,30	343,89	1.478.404,68	123.200,39	171,11
2023	2.382.160,87	198.513,41	275,71	1.441.834,57	120.152,88	166,88
2024	2.297.953,05	191.496,09	265,97	1.435.189,54	119.599,13	166,11

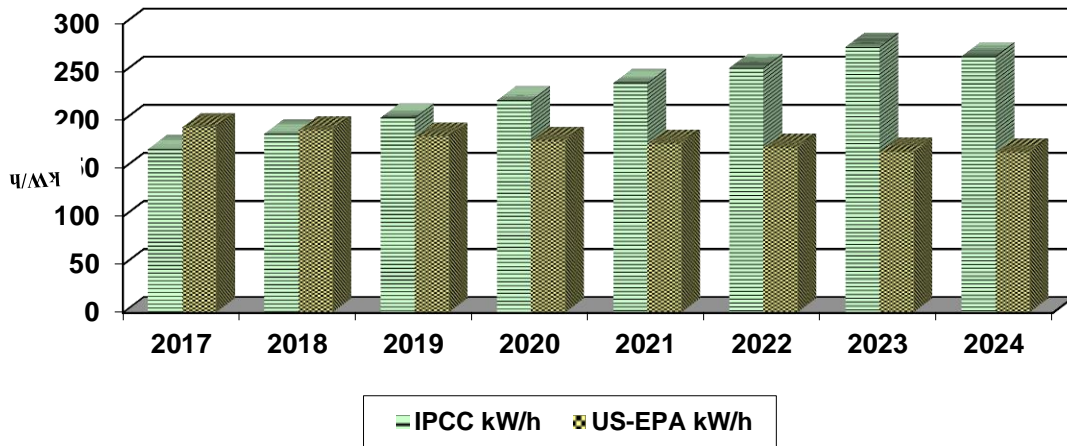
* E disponível (2017) = $1.660.916,81 \times [1 / (365 \times 24)]$

** E disponível (2017) = 189,60 kWh ou 138.409,73 kWh/mês

Fonte: Autora (2018)

Cabe ressaltar que, as metodologias para estimar a geração de energia de escolha no presente estudo foram baseadas no modelo de geração de LFG, com base nas informações básicas de datas de operação do aterro e a quantidade de resíduos existente e prevista no ACRN, para equações da US-EPA e pelo método do IPCC, indicado para emissões provenientes de aterros sanitários, controlados e lixões, conforme indicado em Atlas (2016), apontados na Figura 33.

Figura 33 - Geração de energia no ACRN conforme modelos IPCC e US-EPA



Fonte: Autora (2018)

Resultados obtidos por Alves, Colares e Uturbey (2008), em estudo sobre a geração energética no aterro sanitário de Belo Horizonte, apontam uma geração estimada para o ano de 2008 em de 106,8 MW, com uma L_0 de 0,075 e 63.508 toneladas de gás metano no ano. Tais dados corroboram para a estimativa energética ora apresentada para o ACRN e sua projeção até o ano de 2024, quando inicia a fase de declínio da geração energética prevista, apontada em 0,166 MW/h, conforme metodologia da US-EPA.

Em Silva *et al* (2013), achou-se a estimativa de $4,160 \times 10^7 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ano}$, no aterro controlado de Marabá – PA, este recebe em média 440 toneladas de RSU/dia, segundo a Prefeitura local, entrou em operação no ano de 2005, é um aterro em fase de transição, com a expansão de uma nova célula nos termos da legislação e critérios para aterro sanitário. Os valores correspondentes aos encontrados pela autora para o ACRN foram de:

$$R_x 5,096 \times 10^6 \text{ e}$$

5.8 Tecnologias usadas para aproveitamento energético proveniente de biogás

Conforme apontado na literatura sobre o aproveitamento energético do biogás e os dados estimados conforme os modelos do IPCC e US-EPA, optou-se no presente estudo a aplicação com uso de microturbina para recuperação energética, entre as demais descritas no Quadro 9, onde são apresentados três formas de aproveitamento energético de biogás e suas respectivas aplicações.

Quadro 9 - Aproveitamento, aplicações e avaliação de tecnologias para o uso no ACRN

	TIPO DE GÁS	APLICAÇÕES	AVALIAÇÃO PARA USO NO ACRN (NA – não se aplica; A – se aplica)
1	Gás de aterro como fonte de calor	1.1 LFG como combustível de baixo rendimento 1.2 Evaporação de chorume 1.3 Fornos 1.4 Geração de vapor 1.5 Aquecimento de espaços 1.6 Aplicações do resfriamento e aquecimento por absorção 1.7 Caldeira 1.8 Aquecimento de estufas	1.1 Exige um nível mínimo de processamento do biogás e um consumidor não-cíclico próximo. (NA) 1.2 Requer captação e aquecimento do chorume. (NA) 1.3 Requer forno incinerador, estufas e fornos industriais. (NA). 1.4 Requer caldeiras para geração de vapor. (NA). 1.5 Não existe demanda no âmbito local. (NA). 1.6 Não existe demanda no âmbito local. (NA). 1.7 Não existe demanda no âmbito local. (NA). 1.8 Não existe demanda no âmbito local. (NA).
2	Gás de aterro em eletricidade	2.1 Motor de combustão interna 2.2 Sistema de geração por turbina a vapor 2.3 Sistema de gerador por turbina a gás 2.4 Microturbina	2.1 Possui taxas de emissões de óxido de nitrogênio mais elevadas, dificulta o licenciamento ambiental. (NA). 2.2 Indicadas para grandes geradores. (NA). 2.3 Indicadas para grandes geradores. (NA). 2.4 Indicadas para geradores menores e existe a possibilidade de instalação de mais de um módulo, conforme geração local. (A).
3	Gás de aterro para gás natural	3.1 Combustível veicular	3.1 Exige nível alto de processamento e distribuição. (NA).

Fonte: Atlas (2009)

Entre as tecnologias usadas para conversão energética de biogás, conforme indica ICLEI (2009) “destacam-se os motores de combustão interna – Ciclo Otto e as microturbinas”, conforme dados comparativos no Quadro 10.

Quadro 10 - Comparação entre microturbinas a gás e motores de combustão interna

TECNOLOGIA	POTÊNCIA INSTALADA	RENDIMENTO ELÉTRICO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Micro-turbinas	Pequeno porte 30kW – 1MW	35% - 42%	Modularidade. Combustão eficiente. Requer baixo fluxo de LFG Tamanho portátil e fácil manipulação. Mínima operação e manutenção. Menor emissão de poluentes.	Investimento inicial alto. Sensibilidade à presença de partículas.
Motores de combustão interna	Ciclo Otto 30kW – 1MW Ciclo Diesel 40Kw – 20MW	25% - 30% 30% - 40%	AMBOS: Modularidade Eficiência em carga total e parcial. Menor custo/benefício para grandes aterros.	AMBOS: Limitação de potência. Investimento inicial alto. Requer quantidades significativas de LFG. Difícil licenciamento.

Fonte: Atlas (2009)

A metodologia de aproveitamento energético que apresenta avaliação compatível para implantação no ACRN é a microturbinas, Quadros 9 e 10, considerando a estimativa de geração de biogás, o espaço disponível para implantação e as características de consumo energético.

As adaptações à captação de biogás para implantação e execução no ACRN é objeto de processo de patente proposto pela autora e parte integrante deste estudo, anexos I e II.

5.8.1 Microturbina

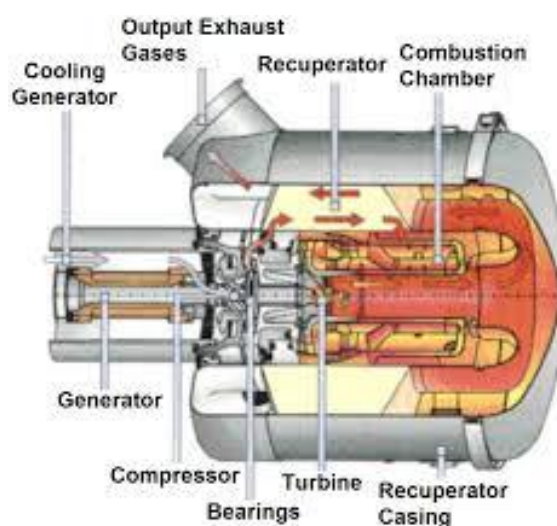
Como opção tecnológica para a utilização da energia gerada no ACRN, o presente estudo aponta o uso de microturbina, Quadros 9 e 10, pois atende a possível captação de gás metano e consequentemente a geração de energia elétrica, conforme descrito:

- As microturbinas geram de 30 a 100 kW de eletricidade. O funcionamento das microturbinas ocorre da seguinte forma:
- o combustível é levado até a seção do combustor na turbina, à razão de 70 a 80 libras por polegada quadrada medida (psig) de pressão.
 - o ar e o combustível são queimados no combustor, liberando o calor que expande o gás de combustível.
 - o gás em expansão aciona a turbina a gás que, por sua vez, aciona o gerador, produzindo eletricidade.

- para aumentar a eficiência geral, as microturbinas são normalmente equipadas com um recuperador que pré-aquece o ar de combustão usando o gás de exaustão na turbina. (ATLAS, 2009).

Uma vantagem do uso de microturbina é a possibilidade de instalar duas ou mais unidades, caso a geração de gás metano seja ampliada, o que gera, neste caso, um aporte maior de energia elétrica para consumo. Na Figura 34, são apresentadas partes fundamentais de uma microturbina, o compressor ou combustor local onde ocorre a chegada do gás e sua queima que ocasiona o acionamento da turbina com a geração de energia elétrica.

Figura 34 – Partes constituintes de uma microturbina



Fonte: ATLAS (2009)

O recuperador executa a ampliação da ação da turbina, aquecendo o ar e nesta fase, caso seja do interesse do usuário, pode haver o aquecimento de água para usos diversos.

No Quadro 11 são indicados fornecedores e custos para o Brasil de uma microturbina, como alternativa também pode ser verificado o Anexo E.

Quadro 11: Fornecedores e custos de microturbina

FORNECEDORES	Bowman Power (Southampton, Inglaterra); Capstone Turbine Company (Chatsworth, Califórnia); Elliott Energy Systems (Jennette, Pensilvânia); Ingersoll-Rand (Portsmouth, New Hampshire) e Turbec (Malmö, Suécia).
CUSTOS PARA O BRASIL	- 7-14 centavos de dólar por kWh + custos de captação e distribuição - custo instalado total de um projeto é estimado em US\$4.000 A 5.000 por kWh em sistemas menores e US\$2.000 a 2.500 por kWh em sistemas modulares maiores

Fonte: Atlas (2009)

Segundo CTC (2018), as características do combustível biogás de aterros sanitários para funcionamento de uma microturbina são: 13 - 32,6 MJ/m³; concentração de H₂S < 70.000 ppm; pressão de entrada 414 - 483 kPa e vazão de biogás 457 MJ/h. Estes dados são compatíveis com um aterro com média anual de 200.000 toneladas de RSU.

5.9 Estimativa da redução da emissão de gases de efeito estufa no ACRN

As reduções de emissões foram calculadas conforme Equação 02 e os resultados estão organizados na Tabela 16 e Figura 35.

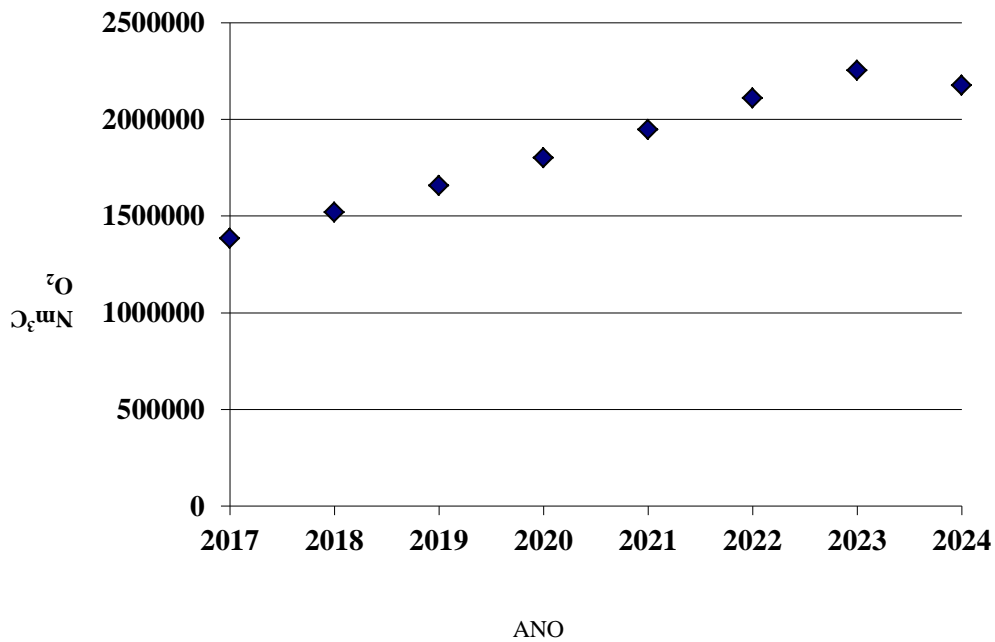
Tabela 16 - Estimativa da redução das emissões de CO₂

ANO	RSU (ton/ano)	RSU ACUMULADO (ton/ano)	ESTIMATIVA DAS REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂ (Nm ³ / CO ₂ /8 anos)*
2017	69.995,24	651.182,87	1.385.923,20
2018	70.639,13	721.822,00	1.520.050,40
2019	71.283,01	793.105,01	1.658.525,60
2020	71.926,89	864.675,56	1.801.260,00
2021	72.570,55	936.889,99	1.948.178,40
2022	73.214,43	1.010.748,29	2.109.755,20
2023	73.858,31	1.084.606,60	2.255.336,00
2024	74.502,19	1.159.108,79	2.175.611,20
		Total	14.854.640,00
		Toneladas	27.451,3747
		Litros líquidos	23.306.930,16

*Onde - N = condição normal

Fonte: Autora (2018)

Figura 35 - Estimativa da redução das emissões de CO₂



Fonte: Autora (2018)

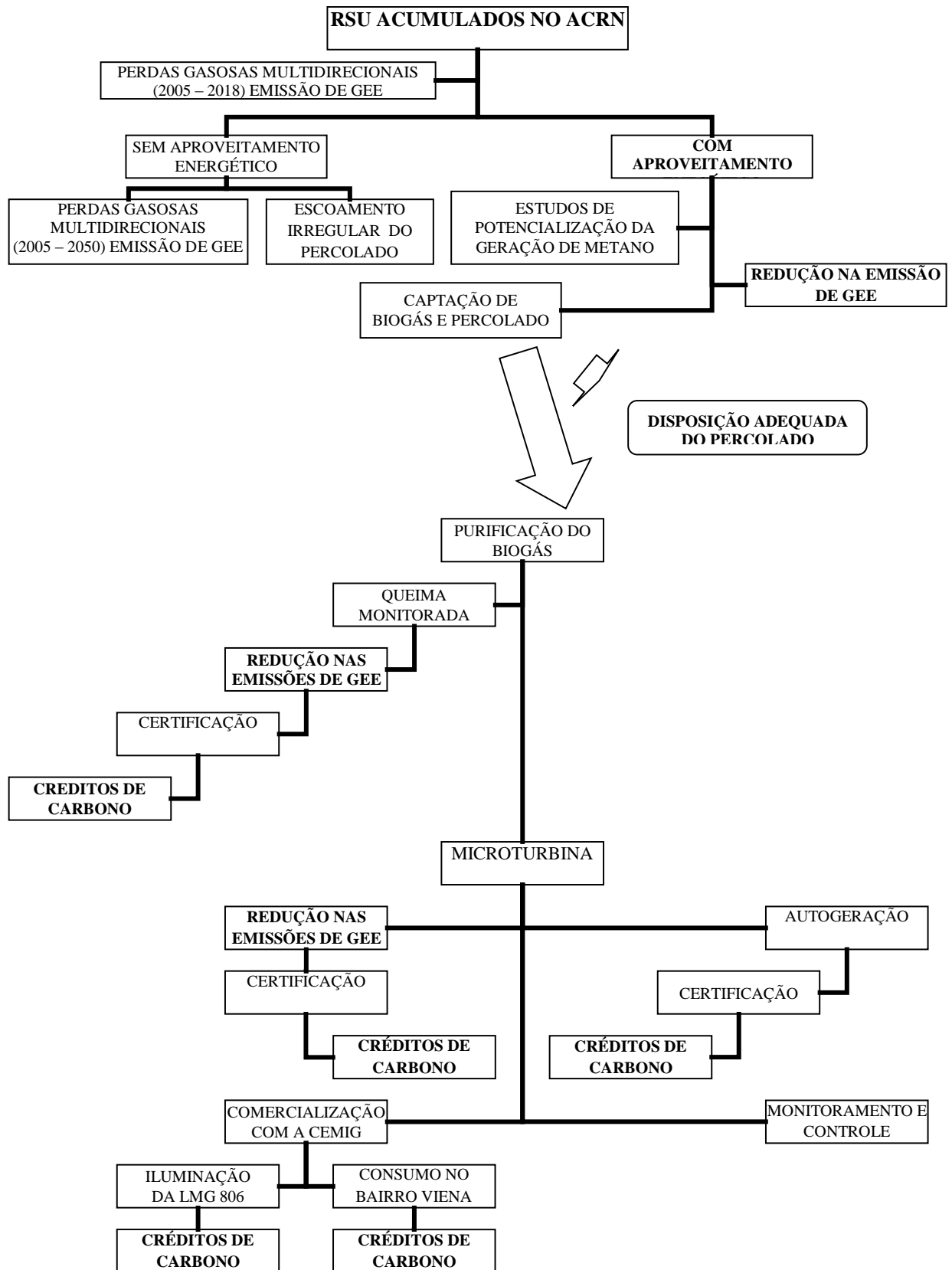
Audibert (2011) utilizou a metodologia do IPCC e chegou ao resultado de emissão de 17.332.601 Nm³/CO₂ para o ano de 2011 em estudos realizados no aterro controlado de Londrina, com deposição de 127.750 toneladas de RSU.

No caso do ACRN, somente nos últimos 8, considerando 2017 a 2024, haveria uma redução na emissão de 14.854.640,00 Nm³/CO₂ na atmosfera, considerando a implantação da captação e aproveitamento energético do biogás.

5.10 Estrutura geral do projeto de aproveitamento energético no ACRN

As principais etapas para a realização de um projeto de aproveitamento energético do biogás proveniente do ACRN encontram-se organizadas na Figura 36, que possibilita uma melhor visualização das principais atividades para a realização de um projeto de geração de energia renovável através do biogás proveniente da decomposição dos RSU.

Figura 36 - Fluxograma para implantação do aproveitamento energético no ACRN



Fonte: Autora (2018)

Foi estimada uma vida útil de 15 (quinze) anos para o empreendimento, compreendido o período de 2019 a 2034, como o decaimento da geração de biogás é algo previsto, toda a casa de máquinas e estruturas serão desmontadas, e transferidas para o aterro sanitário da EMTR, por ter sido instalado no município.

O canteiro de obras será localizado junto à área da usina, as quais consistirão basicamente na construção das bases de concreto armado para a disposição dos contêineres e equipamentos e na construção do módulo da subestação, com alvenaria em bloco, cobertura em laje pré-moldada impermeabilizada com manta e paredes internas e externas com pintura acrílica aplicada diretamente sobre os blocos.

5.10.1 Sistema de coleta inicial de biogás e percolado

Conforme Alves (2000) um dos problemas recorrentes no uso de drenos é o fato de saturação dos mesmos pelo percolado, o que impede a drenagem adequada de biogás. Neste sentido, a autora propõe a instalação de uma mistura de poços de drenagem vertical e coletores horizontais para coletar biogás, com a utilização de estrutura conforme Apêndice I. Para maximizar as taxas de recuperação de biogás, o sistema de coleta deverá ser abrangente e instalado sobre áreas fechadas do aterro. Outros itens a serem contemplados no projeto são descritos nos itens abaixo:

a) Sistema de Ventilação de Biogás

Construção de drenos com escavações de profundidade de 3 a 5 m, onde serão instaladas as tubulações de policloreto de vinila (PVC), preenchidas com brita. Os drenos serão distribuídos com distância variando entre 10 a 20 m, obedecendo a topografia do terreno e distribuição do maciço de RSU.

b) Sistema de Drenagem e de Queima de Biogás

Sistema de drenagem e de queima de biogás consiste em um conjunto de drenos distribuídos conforme o Apêndice D, ligados através de um sistema de tubulação para condução até a estação de purificação do biogás ou queima monitorada em flare adequado. É proposto também, a queima monitorada de gases residuais no processo de purificação.

c) Estação de operação da microturbina

A estação de operação da microturbina está proposta para ser instalada nas proximidades de onde hoje é a sede administrativa, conforme normas técnicas de segurança prevista na ATN NBR 10.157-12 (1987). .

d). Sistema integrado de coleta de percolado (conforme patente)

Para otimizar as ações de monitoramento e controle ambiental no ACRN, além da captação do biogás e seu aproveitamento energético, está previsto, conforme Apêndice D, a coleta e condução do percolado para tratamento conforme NBR.

5.11 Avaliação econômica para o implantar a UGEE no ACRN

Para a análise do investimento financeiro para implantação do aproveitamento energético na ACRN, foram utilizados os seguintes índices:

A). Valor Presente Líquido (VPL): consiste no somatório dos custos e das receitas líquidas previstas, durante a operação econômica do projeto.

B). Taxa Interna de Retorno (TIR): é a taxa de retorno implícita no fluxo de caixa, que só depende da relação entre os valores positivos e negativos presentes no projeto.

Tributos possivelmente consideráveis sobre o projeto: COFINS – 7,6%: Contribuição Permanente sobre Movimentações Financeiras – 1,6% (COFINS); Programa de Integração Social - (PIS); Imposto de Renda – 25% (IR) e Contribuição Social sobre o Lucro – 9,0% (CSLL). Cabe ressaltar, que os tributos incidentes sobre geração de energia de fontes alternativas é questão em discussão e não existe valores percentuais exatos fechados para tal, possui variação, isenções e suspensões totais ou parciais, neste sentido, não foram considerados para a base de cálculo.

Os principais parâmetros para a análise econômica foram: preço de venda das CER's (cenário otimista); preço de venda da energia gerada (cenário conservador e cenário otimista); investimento total do projeto e custos de operação e manutenção.

Os resultados da avaliação de custos estimados para captação, estação de queima UGEE, a avaliação de cenários e serviços encontram-se dispostas nas Tabelas 17 e 18.

Tabela 17 – Investimento, custos operacionais e receitas (US\$)

Ítem	Custo (US\$)
Taxas licenciamento	2.000
Elaboração do RCA	3.000
Infra estrutura básica casa máquinas	1.000
Sistema Integrado de drenos para coleta biogás	80.000
Microturbina	5.000
Sistema Elétrico de Entrada	150.000
Sistema Elétrico de Saída	130.000
Sistema de Queima de Biogás	90.000
Registros e Certificação	15.000
Custos de Operação e Manutenção dos Sistemas(ano)	110.000
Total Estimado Despesas Implantação	476.000
Total Estimado Manutenção (ano)	80.000
Total Estimado Manutenção (7 anos)	560.000
	Receitas (US\$)
Autogestão (7 anos)	840.000,00
Total Estimado de Receitas (com CER, 7 anos)	164.708,24
Total Estimado de Venda de Energia (ano)*	69.213,94
Total Estimado de Venda de Energia (7 anos)*	484.497,54
Total Estimado de Venda de Energia (ano)**	117.616,39
Total Estimado de Venda de Energia (7 anos)**	823.314,72

* 0,0439 US\$/kwh

** 0,0746 US\$/kwh

*** US\$1,00=R\$3,29 em 15/03/2028

Fonte Atlas (2016), adaptado pela autora (2018)

Tabela 18 – Avaliação de cenários

Cenário	Preço CER (US\$) Por tonelada	Preço energia elétrica(US\$)* Por kwh	TIR %	VPL (taxa 11,25%)**
Conservador	-	0,0439	12,54	288.497,54 - I
	-	0,0746	12,54	627.314,72 - I
Otimista	6,00	0,0439	14,95	453.205,78 - I
	6,00	0,0746	14,95	792.022,96 - I

* valores considerados para o mês de fevereiro de 2018 (ANEEL)

** 7 anos

*** (I=imposto incidente à época de operação)

Fonte: Adaptado de Atlas (2016)

Para implantação da UGEE no ACRN, o cenário mais vantajoso é com a obtenção da certificação e participação no mercado de carbono, com resultado de VPL 792.022,96, Tabela 18, considerando a autogestão, comercialização de energia e certificação de redução de emissões pelo período de sete anos de operação. Os valores obtidos por Atlas (2016) para o CTR São Mateus, no Estado do Espírito Santo foi estimado em um VPL de US\$198.969,00 e a TIR de 12,9%, considerando a geração de energia de 1,0 MW + créditos de redução de emissões.

5.12 Possíveis barreiras à implantação da UGEE no ACRN

Ressalta-se a necessidade de avaliar as possíveis barreiras à implantação da UGEE no ACRN. As barreiras de ordem econômica, são apontadas pela falta de aporte financeiro destinado a projetos de transformação de biogás em energia e ausência de incentivos significativos, como por exemplo, isenções de tributos à adaptações tecnológicas necessárias para aumentar a captação do biogás e comercialização da energia gerada.

As barreiras de ordem legal são caracterizadas pela ausência de legislação específica detalhada sobre aspectos relacionados à captação e aproveitamento energético do biogás proveniente de aterros controlados. E por fim, as barreiras de ordem institucional, como a falta de priorização dos órgãos públicos em implantar empreendimentos no setor, a não compreensão da importância e não contextualização social e ambiental do tema abordado.

5.13 A coleta seletiva em Ribeirão das Neves: avaliação e perspectivas

No Município de Ribeirão das Neves não ocorre a coleta seletiva de forma institucionalizada conforme preconiza as normas técnicas e legislação vigente.

Existe em operação somente uma cooperativa de materiais recicláveis, a Cooperativa de Materiais Recicláveis de Ribeirão das Neves (COOMARIN) e uma rede de coletores e sucateiros, que operam na informalidade, apontada no Apêndice E, e com os resultados consolidados na Tabela 19. A COOMARIN foi fundada em 2005 e desde então opera com suporte e apoio da PMRN, mediante convênio e termo de parceria, entretanto, este apoio é irregular, bem como a estrutura organizativa da cooperativa não possibilita um registro apurado das suas atividades, o número de membros é oscilante, atualmente encontra-se um total de 14 membros, com previsão de completar o quadro na assembléia geral prevista para o mês de março de 2018. A coleta seletiva realizada pela COOMARRIN, atende parcialmente a

algumas empresas e doadores de materiais, que esporadicamente levam materiais na sede desta instituição. Na Figura 37 registro da entrada da sede COOMARRIN, localizada na Rua Ari Teixeira da Costa/Praça da Bíblia, Bairro Status.

Figura 37 - Entrada da sede da COOMARRIN



* O material encontra-se prensado para ser transportado e comercializado

Fonte: Autora (2018)

A rede de coletores e (ferros velhos) sucateiros é dispersa pelo município, 95% operam em espaços improvisados, de equipamentos de proteção individual, somente 10% relataram usar luvas e botas, informaram que não realizam nenhum tipo de registro sistematizado de suas atividades e quantitativo de material comercializado. Nenhum dos visitados reconhecem a PMRN como um órgão que atua em prol da coleta seletiva, disseram não ter interesse em vincular suas atividades com projetos e programas específicos, o foco é exclusivamente na comercialização imediata dos materiais. Solicitaram não ter o nome do proprietário divulgado, autorizaram o registro do quantitativo estimado no ano de 2017. O registro fotográfico de alguns dos sucateiros visitados encontra-se na Figura 38 e conforme registro no Apêndice K, houve a observação geral dos estabelecimentos e duas perguntas direcionadas aos responsáveis pelos pontos de recebimento de recicláveis:

- a). Quais materiais são habitualmente recebidos/comercializados pelo estabelecimento?
- b). Qual o quantitativo aproximado comercializado, para cada material, por mês no ano de 2017?

Figura 38 - Registro fotográfico de alguns dos ferros velhos (sucateiros) visitados





- A – Ferro velho localizado no Bairro Sevilha – B (disposição de material na calçada)
- B – Ferro velho localizado no Bairro Várzea Alegre – (disposição de material na calçada)
- C – Ferro velho localizado no Bairro Fortaleza – Funciona como ponto de entrega voluntária, ao final do dia o material é recolhido junto com demais proveniente de catação
- D – Ferro velho localizado em Justinópolis – Uso de calçada para separação de material e comercialização de metais e demais resíduos

Fonte: Autora (2018)

Segundo Zaman e Lehmann (2013), a aplicação da equação, por eles elaborada, para a determinação de valores com os parâmetros indicados na Tabela 19 são usados para calcular o ZWI para cada localidade.

Tabela 19 - Valores e parâmetros de substituição para o cálculo do ZWI

Sistema de Gestão	Categoria de resíduos	Resíduos totais (ton)	Matéria prima Economizada (ton)	Energia economizada (GJ)	CO2 não emitido (ton)	Água economizada (mil litros)
Reciclagem	Papel	Dados a serem inseridos conforme localidade em estudo	0,84 – 1,00	6,33 – 10,76	0,60 – 3,20	2,91
Reciclagem	Vidro		0,90 – 1,00	6,07 – 6,85	0,18 – 0,62	2,3
Reciclagem	Metal		0,79 – 0,96	36,09 – 191,42	1,40 – 17,8	5,97 – 181,77
Reciclagem	Plástico		0,90 – 0,97	38,81 – 64,08	0,95 – 1,88	-11,37
Reciclagem	Misto		0,25 – 0,45	5,00 – 15,00	1,15	2,0 – 10,0
Compostagem	Orgânico		0,60 – 0,65	0,18 – 0,47	0,25 – 0,75	0,44
Aterro	Misto		0	0,00 – 0,84	(-)0,42 – 1,2	0

Fonte: Zaman e Lehmann (2013)

O quantitativo por categoria de recicláveis comercializados pelos sucateiros no município de Ribeirão das Neves, no período compreendido em janeiro a dezembro do ano de 2017, pode ser verificado na Tabela 20 como “resíduos totais em toneladas” e foram usados para o cálculo do ZWI municipal.

Tabela 20: ZWI Ribeirão das Neves

Cate- Goria de resíduo	Resíduos totais (toneladas)	Matéria prima economizada	Energia economizada (GJ)	CO₂ não emitido (toneladas)	Água economizada (mil litros)
Papel	1,053	0,1011	0,353	0,2085	0,3193
Papelão	2,87	0,275	2,555	0,568	0,8705
Vidro	0,056	0,00555	0,0375	0,0023	0,0134
Latas de alumínio	0,25	0,023	2,965	0,2495	2,448
Cobre	0,1125	0,01015	1,33	0,1125	1,1
Ferro	3,5255	30,85	41,8	3,527	34,49
Madeira	0,215	0,014	0,00725	0,0112	0,0098
Plástico mole	0,652	2,967	3,495	0,0985	0,773
Plástico rígido	0,31	0,0305	1,66	0,046	0,368
PET	0,40	0,039	2,1445	0,0585	0,47
Outros	0,15	0,0055	0,154	0,018	0,0935
TOTAL	9,594**	34,3208**	50,50125**	4,9**	40,9555**

4 ** Período: um mês no ano de 2017

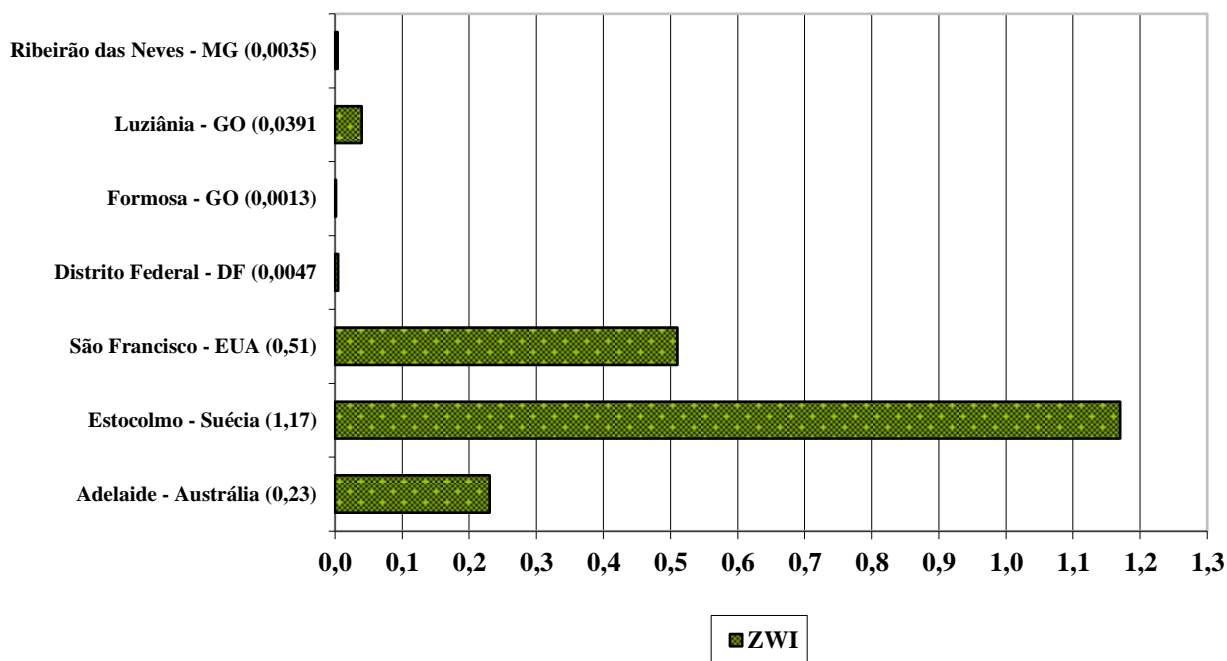
5 ZWI Ribeirão das Neves = 0,0035 (no ano 2017)

Fonte: Autora (2018)

Com a atividade dos catadores, sucateiros (ferro velhos) e COOMARIN na coleta seletiva dos resíduos dispensados pelos municípios e empresas, chegou-se ao resultado de coleta de materiais com possibilidade de reciclagem e reutilização, média de 9,594 kg/mês, no ano de 2017. Os entrevistados relataram que houve queda nos valores comercializados e isto agrava a situação financeiras, pois muitos sustentam as famílias exclusivamente com os recursos provenientes da comercialização de reciclados. Os dados quali quantitativos foram usados conforme a metodologia do zero waste de Zaman e Lehmann (2013) e revelou que foram evitados de serem consumidos 40.955,50 litros de água/mês; 50,5012 Gigajoule de energia/mês, o que corresponde a 14,028 MWh de energia/mês não utilizada e houve a não emissão de 4,9 toneladas de CO₂/mês na atmosfera.

Na Figura 39 encontra-se um comparativo do ZWI de 8 cidades, conforme Zaman e Lehmann (2013): Adelaide, São Francisco e Estocolmo; Distrito Federal, Luziânia, Formosa, Cardoso (2016) e Ribeirão das Neves, autora 2018.

Figura 39 - ZWI de 07 cidades



Fontes: Adelaide, Estocolmo e São Francisco - Zeman e Lehmann (2013), Distrito Federal, Formosa e Luziânia - Cardoso (2016) e Ribeirão das Neves - autora (2018)

O Município de Ribeirão das Neves apresentou um valor de ZWI de 0,0035 para o ano de 2017, com os dados para cálculos obtidos com este estudo. O município de Ribeirão das Neves não informou dados registrados, inviabilizando a determinação em anos anteriores.

Cabe ressaltar que, quanto mais elevado for o ZWI melhor é a gestão no âmbito da coleta seletiva e de não geração resíduos com potencial para reaproveitamento, reciclagem ou compostagem. Neste sentido, comparando os resultados de ZWI dispostos na Figura 39, Estocolmo-Suécia apresentou índices satisfatórios na gestão dos resíduos e Formosa-GO, no Brasil, apresentou índice que reforça a necessidade de reavaliar o sistema de gestão de resíduos. O valor encontrado para o município de Ribeirão das Neves, não foi satisfatório e é imprescindível que seja implantada a coleta seletiva com formalização e inclusão de catadores e cadastro da rede de sucateiros, destinação de reciclagem, redução, compostagem ou logística reversa para os resíduos gerados pela sociedade local.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A disposição dos RSU de forma tecnicamente adequada cria condições reais para o uso da energia neles confinada através de tecnologias já disponíveis, mesmo que necessitem de adaptações para cada caso em estudo. Conforme o princípio da conservação da energia é estabelecido que a quantidade total de energia em um sistema isolado permanece constante, cabe ressaltar que os aterros de RS formam um sistema parcialmente fechado, o que possibilita a captação e aproveitamento da energia neles confinada ao longo de anos.

Um número significativo de municípios brasileiros encontra-se operando em aterros controlados que necessitam passar por procedimentos para minimizar os impactos ambientais que provocam, caso isto não ocorra, a atmosfera continuará a receber excedente de gases de efeito estufa, percolado no solo e cursos d'água, contaminantes nocivos à saúde humana e de outros seres vivos, provenientes da decomposição dos RS.

Neste sentido, com base no estudo ora finalizado, sugere-se à administração do Município de Ribeirão das Neves, estudos urgentes para o encerramento do recebimento de RSU no ACRN, bem como à coletividade e poderes instituídos, o intenso debate para rever a Lei Municipal 3.106/2008, promovendo sua alteração com objetivo de definir critérios técnicos e financeiros para a operacionalização do aterro sanitário da EMTR, no modelo de consorciamento entre municípios, ainda que de forma restrita, aplicação de medidas compensatórias e mitigadoras executáveis a curto e médio prazo.

O Município de Ribeirão das Neves é uma cidade com necessidade de investimentos em infra-estrutura e projetos especiais. O estudo de caso para o Aterro Controlado do Município de Ribeirão das Neves, apontou dados estimativos de geração energética estimada em 0,166 MW/h, conforme metodologia da US-EPA, até o ano de 2024 e a recuperação de gás metano suficiente para manter em funcionamento no mínimo, uma microturbina. Os dados obtidos com a análise econômica apontaram, em cenário otimista, resultado promissor um valor presente líquido de US\$792.022,96, considerando a autogestão, comercialização de energia e certificação de redução de emissões pelo período mínimo de sete anos de operação.

A análise da amostragem de resíduos sólidos através da determinação da composição gravimétrica foi de fundamental importância para avaliar a estimativa do potencial de aproveitamento energético e coletar dados sobre a disposição final de RSU no ACRN. Sugere-se que haja um planejamento regulamentar para a realização de novas amostragens conforme a metodologia indicada pela ABNT NBR 10.007:2004, entretanto, é de fundamental

importância que o município atenda a todas as determinações e chamadas técnicas do órgão ambiental estadual.

Ficou evidenciado que a rede de coletores e (ferros-velhos) sucateiros, com a participação de uma cooperativa de materiais recicláveis, possuem atuação efetiva na coleta seletiva informal, contabilizando a economia média mensal, para no ano de 2017, de 40.955,50 litros de água; 50,5012 Gigajoule, o que corresponde a 14,028 MWh de energia e houve a não emissão de 4,9 toneladas de CO₂ na atmosfera, conforme a metodologia de cálculo do ZWI. É de fundamental importância a implantação regulamentada da coleta seletiva, seja no modelo porta a porta ou ponto a ponto, com estabelecimento da entrega voluntária por parte dos munícipes, conforme disponibilidade da administração municipal; a formalização e inclusão dos catadores; o cadastro e monitoramento das atividades dos sucateiros; projetos para: compostagem; reciclagem, logística reversa e o co-processamento no âmbito da gestão municipal de resíduos sólidos urbanos. Para que haja incentivo aos procedimentos de coleta seletiva de papel e papelão, a autora propôs uma máquina, de operação manual para transformação destes resíduos em folhas e caixas comerciáveis, conforme Apêndice J.

Os dados do monitoramento de CO₂, O₂ e CH₄, foram compatíveis com a intensa atividade microbiana no processo de decomposição dos resíduos depositados no ACRN, entretanto deve ser mantido o monitoramento por um longo período de tempo, ressalta-se a necessidade de realizar mensurações com o uso de drenos específicos que possibilitem medir a geração de biogás em regiões mais profundas do aterro para avaliar a ação metanogênica e a possibilidade de ser usado inóculos bacterianos para otimizar a geração de gás metano, neste sentido, a autora propôs a utilização de um sistema integrado automático para captação de biogás, coleta de percolado, inoculação de bactérias metanogênicas e hidratação para uso em aterros de resíduos sólidos, conforme Apêndice I.

A análise do potencial de geração de biogás e da viabilidade de implantação do aproveitamento energético é um instrumento que contribui com políticas de consolidação de mecanismos de desenvolvimento limpo seja nos aterros controlados ou sanitários existentes, bem como naqueles aterros sanitários que estejam em fase de projeção, pois efetivamente contribuem para ações de aplicação de fontes renováveis de energia através do uso de biomassa confinada nos aterros, ocorrerá portanto, a redução na emissão de GEE's na atmosfera e a comercialização de energia.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos**, 2016. 111 p. São Paulo, 2016.
- ABREU, E. F. de. **Estudo da diversidade microbiana metanogênica em reatores UASB tratando esgoto sanitário**/Érika Ferreira de Abreu – 2007. 93 f., enc.:II, UFMG, Belo Horizonte, 2007.
- ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004: Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 1987. Disponível em <http://www.abnt.org.br>. Acesso em 16/05/2016.
- _____. **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR .10.007: Classificação de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em <http://www.abnt.org.br>. Acesso em 16/05/2016.
- _____. **Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISSO 14.065:2012 Gases do Efeito Estufa – Requisitos para organismos de validação e verificação de gases de efeito estufa para uso em acreditação e outras formas de reconhecimento**. Ed. Brasil: ABNT, 2012.
- _____. **NBR 8419:1992 – Versão Corrigida: 1996. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=80553>. Acesso em 15 de março de 2017.
- _____. **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 116560:2017 – Determinação de siloxanos em biogás e biometano**. Rio de Janeiro, 2017.
- _____. **NBR 13.896:1997 – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação**. Acesso em 8 de maio de 2017. Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=4829>
- ALVES, J. W. S. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos**. (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- ALVES, L. COLARES, R. UTURBEY, W. **As Atratividades Ambientais e Econômicas do Uso do Biogás Produzido pelo Aterro Sanitário de Belo Horizonte para Geração de Energia Elétrica**. SBSE 2008, Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Belo Horizonte, 2008.
- ANDRADE, R. T. SANTOS, E. M. **Quantificação das emissões de gases de efeito estufa – GEE's Segundo Matriz Energética Diesel ou GNV no Transporte Público por Ônibus em Natal**, Revista Holos, v. 3, p./1-15, 2011.
- ATLAS. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: Guia de Orientação 2009** [Coordenação Geral Isaura Maria de Rezende Lopes Frandizi] Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio: FIDES. 142 p. RJ, 2009.
- AKATSU, J. LIMA, L. M. Q. **Projeto de Biorremediação do Aterro do Entroncamento do Município de Porto Alegre, RS, 1991**. Disponível em, cidades.ibge.gov.br/xtras/fontes.php.lang=, acesso, 20/10/2015.
- AUDIBERT, J. L. **Avaliação qualitativa e quantitativa do biogás do aterro controlado de Londrina**. Londrina, 2011. Acesso em janeiro de 2018. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000163203>

- AZEVEDO, L. P., LANDIM, A. L. P. F. **O aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários: unindo o útil ao sustentável.** 2016. Disponível em <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set2704.pdf>. Acesso em 11/08/2017.
- BATISTONE, D. J. KELLER, J. BLACKALL, L. L. **The influence of substrate kinetics on the microbial community structure in granule anaerobic biomass.** *Water Research*, v. 38, p. 1390 – 1404, 2004.
- BRASIL. C. F. **1988.** Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]. Brasília, DF. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em 10/05/2017.
- _____. **Lei Federal 11.445/2007.** Lei Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em 10/05/2017.
- _____. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.** Lei Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/9605_12/02/98.10/05/2015.
- _____. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998.** Lei Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/12.305_02/08/2010. Acesso em 10/05/2015.
- _____. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Atlas do Saneamento.** Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/pub.html.2011. Acesso em 05/06/2015.
- BRASMETANO. **Sistemas e produtos.** Landbox. 2017. Disponível em www.brasmetano.com.br. Acesso em 15/12/2017.
- CARDOSO, M. S. S. **Gestão de resíduos sólidos urbanos na RIDE-DF: a geração e a coleta seletiva, 2016.** 102 f., il. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável), Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- CASTILHOS JÚNIOR, A. B. LANGE, L. C. GOMES, L. P. PESSINI, N. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte.** Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 294 p., 2003.
- CALLI, B. MERTOGLU, B. INANC, B. YENIGUN, O. **Methanogenic diversity in anaerobic bioreactors under extremely high ammonia levels.** *Enzyme and Microbial Technology*, v. 37, p. 448 – 455, 2005.
- CALLI, B. DURMAZ, S. METOGLU, B. **Identification of prevalent microbial communities in a municipal solid waste landfill.** *Water Science Technology*, v. 53, p. 139 – 147, 2006.
- CTC – **Capstone Turbine Corporation.** Disponível em <http://www.capstoneturbine.com>. Acesso em 17/01/2018.
- CHOUARI, R. PASLIER, D. L. DAEGELEN, P. GNESTET, P. WESSENBACH, J. SGHIR, A. **Novel predominant archaeal and bacterial groups revealed by molecular analysis of an anaerobic sludge digester.** *Environmental Microbiology*, v. 7, n. 8, p. 1104 – 1115, 2005.

COPAM – Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais. **Deliberação Normativa nº 74, de 27 de maio de 2004. Estabelece novas diretrizes para classificação de empreendimentos no Estado de MG e dá outras providências.** Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

_____ – Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais. **Deliberação Normativa nº 118, de 27 de junho de 2008. Altera os artigos 2º, 3º e 4º da DN 52/2001, que estabelece novas diretrizes para a adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais e dá outras providências.** Minas Gerais, Belo Horizonte, 28/06/2008.

_____ – Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais. **Deliberação Normativa nº 170/2011. Estabelece diretriz para recuperação de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais e dá outras providências.** Minas Gerais, Belo Horizonte, 28/06/2011.

CUNHA, M. E. G. **Análise do setor de saneamento ambiental no aproveitamento de resíduos: o caso do Município de Campina – SP.** 2011. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000267696>. Acesso em 12/10/2016.

ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas/SP.** 2003. Disponível em: http://link.periodicos.capes.gov.br/sfxlc141?ctx_ver=Z39. Acesso em 06/03/2015.

FEAM – **Fundação Estadual do Meio Ambiente. Geração per capita de resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte: FEAM, 2016.

_____ – **Fundação Estadual do Meio Ambiente. Reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos/FEAM;** Fundação Israel Pinheiro. Belo Horizonte: FEAM, 2010. 36 p. Disponível em <http://www.ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/GEMIS>. Acesso em 25/03/2017.

HEAD, I. M. SAUDERS, J. R. PICKUP, R. W. **Microbial evolution, diversity and ecology: a decade of ribosomal RNA analysis of uncultivated microorganisms.** *Microbial Ecology*, v. 35, p. 1 – 21, 1998.

HIGHMED. **Descrição KANE 940.** Disponível em <http://www.highmed.com.br/k-940-analisador-de-gases-co-co%C2%B2-o%C2%B2-nox-so%C2%B2/p..> Acesso em 28/01/2018.

IBGE. **Relatório do 1º workshop sobre estimativas de população para pequenas áreas. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Pesquisas, Departamento de População,** 1991.

_____ – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=352044>. Acesso em 13/04/2017.

ICLEI – **Brasil – Governos locais pela sustentabilidade. Manual para aproveitamento do biogás: v. I, aterros sanitários.** ICLEI – Governos locais pela sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009.

IPCC. **International Panel on Climate Change. Relators of climate.** Japan: IGES, 2001.

_____. **International Panel on Climate Change. 2006 – IPCC – Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Japan: IGES, 2006.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos. Relatório de Pesquisa. 2012.** Disponível em <http://www.ipea.gov.br/agenda/images/sto>. Acesso em 25/07/2017.

ISO. **ISO 50001. Gestão de energia.** Disponível em: <http://www.abesco.com.br/pt/iso-50001-gestao-de-energia>. Acesso em 09/05/2017.

_____. **ISO-TC 255. Standardization in the field of biogás produced by anaerobic digestion, gasification from biomass and power to gás from biomass sources.** Disponível em <http://www.iso.org/committee/617083.html>. Acesso em 09/05/2017.

LEITE, L. E. H. B. da C.; MAHLER, C. F.; FILHO, L. F. B. **Avaliação do potencial de receitas derivadas do biogás de aterro. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – III – 204.** ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

LIU, W. T.; CHAN, O. C.; FANG, H. H. P. **Characterization of microbial community in granular sludge treating brewery wastewater.** *Waster Research*, v. 36, p. 1767 – 1775, 2002.

MACIEL, F. J. **Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE.** Dissertação de Mestrado. 173 p., Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

MADEIRA, J. L.; SIMÕES, C. C. S. **Estimativas preliminares da população urbana e rural segundo as unidades da federação, de 1960 à 1980, por uma nova metodologia.** *Revista Brasileira de Estatística*, v. 33, n. 129, p. 3 – 11, jan/mar, 1972.

MALDANER, L. S. **Cobertura para oxidação biológica do metano em aterros de resíduos sólidos urbanos.** São Paulo, 2011. 108 p. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Estrutura e Geotécnica. Disponível em file:///C:/Users/x/Desktop/DISSERTACAO_LM.pdf. Acesso em 25/05/2017.

MAGERA, M. **Os empresários do lixo: um paradoxo da modernidade.** 2003, In: MEDEIROS, L. F. R.; MACEDO, K. B. **Catador de material reciclável: uma profissão para além da sobrevivência. Sociedade de Psicologia.** [online]. 2006, v. 18, n. 2, p. 62 – 71.

MANCINI, S. **Potencial de reciclagem de resíduos sólidos urbanos destinados a aterros sanitários: o caso Indaiatuba, SP, Brasil.** *Waste Management & Reserach*, v. 25, n. 6, p. 517 – 523, 2007.

MATIAS, J. L. N.; MATTLEI, J. **Proteção ambiental no Brasil e na Alemanha.** *Revista do Programa de Pós-graduação em Direito da UFC*, v. 34, jul/dez, 2014.

MINAS GERAIS. **Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos.**

OLIVEIRA, E. M.; SILVA, M. N.; SILVA, J. S.; BARRADAS, A. O.; **Avaliação do potencial de produção de biogás no aterro controlado do Município de Marabá – PA. 3º Congresso Brasileiro de Química Realizado no Rio de Janeiro/RJ, de 14 a 18 de outubro de 2013.** ISBN: 978-85905-06-4. Disponível em <http://www.abq.org.br/cbq/2013/trabajos/5/2463-15740.html>. Acesso em 27/01/2018.

OCDE. **Organização par a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico.** *Effective carbon rates on energy.* 2016. Disponível em www.oecd.org/tax/environmet-taxes.htm. Acesso em 29/01/2018.

PASINI, K. B. **Projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) em aterros sanitários: contribuições das tecnologias ambientais para o desenvolvimento sustentável.** Disponível em http://link.periodicos.copes.gov.br/sfxlc141?ctx=Z39.88-2004&ctx_enc=info:ofi/enc:UTF-8&ctx_tim=2016-0. Acesso em 15/06/2017.

PMGIRS. **Plano municipal de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Prefeitura Municipal de Ribeirão das Neves.** 2015. NMC-Projetos e Consultorias. Disponível em <http://www.ribeiraodasneves.mg.gov.br>. Acesso em 08/07/2016.

PNSB. **Plano Nacional de Saneamento Básico.** 2008. Disponível em <http://mma.gov.br>. Acesso em 23/03/2016.

Relatório 2 e 3: **Análise da pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento energético de biogás no aterro sanitário de Contagem/MG.** In: Engebio: FEAM. Belo Horizonte. 106 p. 2009.

SANTOS, M. F. **O impacto dos créditos de carbono na atividade econômica de pequenas centrais hidrelétricas.** Copel, Espaço Energia. ISSN: 1807857-5. n. 05, p. 97 – 104, outubro/2006.

SANTOS, M. R.; TEIXEIRA, C. E.; KNISS, C. T. **Avaliação de desempenho ambiental na valorização de resíduos sólidos de processos industriais.** Rev. Adm. UFSM, Santa Maria, v. 7, Ed. Especial, p. 75 – 92, novembro/2014.

SHARHOLY, A.; KAFEEL, A.; VAISHYA, R. D. **Municipal solid waste characteristics and management in Allahabad, India.** Gupta b a Department of Civil Engineering, Jamia Millia Islamia (Central University), Jamia Nagar, New Delhi 110025 Engieenring, Motial Nehru National Institute of Technology (Deemed University), Allahabad 211004, Uttar Pradesh, India, Accepte 9 March 2006. Disponível em <https://pdfs.semanticscholar.org/0a88/7f8959ee03075f04d3b0be7a2b59ad8acf3f.pdf>. Acesso em 11/10/2017.

SOLVI. **EMTR. 2017.** Disponível em <https://www.solvi.com/resíduos-públicos/emtr>. Acesso em 11/10/2017.

VILHENA, A. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado.** São Paulo: IPT:CEMPRE, SP, 2000.

WRI, World Resource Intitute. **GHG Protocol Corporate Value Chais (Scope 3) Accounting and Reporting Standard.** Washington, 2010.

ZAMAN, A.U.; LEHMANN, S. **The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a ‘zero waste city’.** Disponível em [file:///C:/Documents%20and%20Settings/dg%20computadores/Meus%20documentos/Thezerowasteindex%20\(1\).pdf](file:///C:/Documents%20and%20Settings/dg%20computadores/Meus%20documentos/Thezerowasteindex%20(1).pdf). Acesso em 14/02/2018.

APÊNDICE A – Ofício de solicitação de autorização junto à PMRN

Ribeirão das Neves, 12 de janeiro de 2017.

PARA: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano da PMRN

Sr. Secretário Leonardo Martins

DE: Mestranda em Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais

Sra. Márcia Aparecida Silva

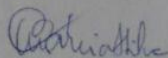
REF.: SOLICITAÇÃO

Prezado Sr. Secretário, meus cordiais cumprimentos.

Apresento meus votos de uma excelente gestão municipal que ora inicia-se, estendida ao Exmo. Prefeito Junynho Martins e minha satisfação em colaborar com o desenvolvimento ambiental e estrutural do nosso Município. Neste sentido, após longa conversa com a Secretária de Ação Social, Sra. Gláucia Brandão, pessoa de minha alta estima, e por suas orientações, venho pelo presente instrumento informá-lo que estou desenvolvendo um estudo para elaboração da minha dissertação de mestrado, intitulado: ANÁLISE DA VIABILIDADE AMBIENTAL, TÉCNICA E ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS DO ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO DAS NEVES-MG, sob a orientação do Professor Dr. Neimar de Freitas, junto ao Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG.

Para dar prosseguimento aos levantamentos técnicos, preciso ter acesso a alguns estudos, bem como a visitas coordenadas ao aterro controlado, localizado na LMG 806/Justinópolis. Solicito-lhe o agendamento de uma reunião, o mais rápido possível, para que eu possa explicar melhor os dados já obtidos, o eixo norteador do projeto de dissertação, bem como demais esclarecimentos que se fizerem necessários.

Certa do atendimento, agradeço e aguardo resposta.



MÁRCIA A. SILVA

TEL: (31) 988400816


Email: marciabrasilmg@gmail.com

Fonte: Autora (2017)

APÊNDICE B – Ofício de autorização da PMRN

PMRN – LOGO

AUTORIZAÇÃO


Leonardo Luiz Alves Martins
Secretário Municipal
de Obras

Eu _____, abaixo assinado (a), responsável pela gestão do Aterro Controlado do Município de Ribeirão das Neves (ACRN), com ciência dos gestores municipais, nos termos vigentes, autorizo a realização do estudo **"Análise da Viabilidade Ambiental, Técnica e Econômica do Aproveitamento Energético de Biogás do Aterro Controlado de Resíduos Sólidos do Município de Ribeirão das Neves-MG"**, de autoria e realização da mestrandia em sustentabilidade e tecnologia ambiental do IFMG-Campus Bambuí, Márcia Aparecida Silva, CI MG 5072489, e sob orientação do Dr. Hygor Rossoni e co-orientação do Dr. Fernando Lemos. Conforme especificado no quadro 1.

APÊNDICE C - DOC_t

O carbono orgânico degradável é a fração acessível para a decomposição bioquímica dos resíduos. Neste estudo optou-se por calcular o DOC_t usando o ano de 2017 como referência pela justificativa de compilação de dados reais dos boletins diários veiculares e com os dados do estudo gravimétrico realizado pela autora. Os valores encontrados estão indicados abaixo:

FRAÇÃO DE RESÍDUO CORRESPONDENTE*	%	FATOR DE EMISSÃO [gC.Gmsw]	FRAÇÃO DE RESÍDUO DEPOSITADOS NO ACRN Ano 2017 (toneladas)	DOC _t gC.Gmsw ⁻¹
A. Papel e papelão	15,53	0,17	180.009,60	30.601,63
B. Têxtil	1,18	0,26	13.677,49	3.556,15
C. Alimentos	39,85	0,45	461.904,86	207.857,19
D. Madeira	0,71	0,47	8.229,67	3.867,94
E. Borra e couro	0,88	0,07	10.200,16	741,01
F. Plástico	12,07	0,11	139.904,43	15.389,49
G. Metal	5,93	0,29	68.735,15	19.933,19
H. Vidro	5,50	0,33	63.750,98	21.037,82
I. Outros	18,35	0,13	212.696,46	27685,54
DOC _t				122.812,77

*Dados do estudo gravimétrico com a metodologia da NBR 10.007 (2004)

Fonte: Autora (2018)

APÊNDICE D - Estimativa conforme modelo US-EPA

ANO OPERACIONAL	ANO TEMPORAL	RSU (toneladas/ano)	L ₀ RSU Total m ³ CH ₄ tonelada	e ^{-ktⁿ}	Q(CH ₄)t/ano
1	2005	20.082,18	3.413.970,60	-	
2	2006	20.830,11	3.541.118,70	0,45	1.327.714.061,00
3	2007	42.100,30	7.157.051,00	0,88	10.606.250.000,00
4	2008	43.861,24	7.456.410,80	0,85	11.119.610.000,00
5	2009	45.057,42	7.659.761,40	0,81	11.182.180.000,00
6	2010	50.963,05	8.663.718,50	0,78	13.775.720.000,00
7	2011	51.549,75	8.763.457,50	0,75	13.552.620.000,00
8	2012	52.117,31	8.859.942,70	0,72	13.298.580.000,00
9	2013	61.106,69	10.388.137,30	0,69	17.520.060.000,00
10	2014	61.782,17	10.502.968,90	0,67	17.390.420.000,00
11	2015	62.430,14	10.599.768,60	0,64	16.940.670.000,00
12	2016	69.351,58	11.789.768,60	0,61	19.950.390.000,00
13	2017	69.995,24	11.899.190,80	0,59	19.656.130.000,00
14	2018	70.639,13	12.008.652,10	0,57	19.340.800.000,00
15	2019	71.283,01	12.118.111,70	0,54	18.658.410.000,00
16	2020	71.926,89	12.227.571,30	0,52	18.293.420.000,00
17	2021	72.570,55	12.336.993,50	0,50	17.906.050.000,00
18	2022	73.214,43	12.446.453,10	0,48	17.496.190.000,00
19	2023	73.858,31	12.555.912,70	0,46	17.063.400.000,00
20	2024	74.502,19	12.665.372,30	0,45	16.984.760.000,00

*k= 0,04; e= 2,71

Fonte: Autora, 2018

APÊNDICE E - População, RSU e geração de biogás

Os resultados da estimativa populacional, geração de RSU ano a ano serviram de base para calcular a geração de gás metano conforme modelos sugeridos por IPCC e US-EPA, ambos descritos em IPCC (2009) e indicados abaixo:

A N O	AN O	POPUL A ÇÃO	POP. ATENDIDA %	RSU (ton/ano)	RSU ACUMUL ADO (ton/ano)	ESTIMANTIVA MODELO IPCC Geração m ³ /meta no/ano	ESTIMATIVA MODELO USEPA Geração m ³ /meta no/ano
1	2005	311.372	93.412 (30%)	20.082,18	0	-	-
2	2006	322.969	96.891 (30%)	20.830,11	40.912,28	23.603,80	26.554,28
3	2007	326.381	195.829 (60%)	42.100,30	83.012,58	144.630,72	212.125,00
4	2008	340.033	204.020 (60%)	43.861,24	126.828,82	209.310,40	222.392,20
5	2009	349.307	209.584 (60%)	45.057,42	171.886,24	276.103,20	223.643,60
6	2010	296.317	237.054 (80%)	50.963,05	222.849,99	423.868,32	275.514,40
7	2011	299.729	239.783 (80%)	51.549,75	274.399,74	505.964,48	265.971,60
8	2012	303.029	242.423 (80%)	52.117,31	326.517,05	591.048,32	271.052,40
9	2013	315.819	284.237 (90%)	61.106,69	387.623,74	914.090,04	350.401,20
10	2014	319.310	287.379 (90%)	61.782,17	449.405,91	1.038.234,00	3.478.084,00
11	2015	322.659	290.393 (90%)	62.430,14	511.836,05	1.164.671,00	3.388.134,00
12	2016	325.846	322.588 (99%)	69.351,58	581.187,63	1.569.867,00	1.995.003,50
13	2017	328.871	325.582 (99%)	69.945,53	651.182,87	1.732.404,00	1.965.613,00
14	2018	331.896	328.577 (99%)	70.639,13	721.822,00	1.900.063,00	1934080000
15	2019	334.921	331.572 (99%)	71.283,01	793.105,01	2.073.157,00	186584100
16	2020	337.946	334.567 (99%)	71.926,89	864.675,56	2.251.575,00	182934200
17	2021	340.971	337.561 (99%)	72.570,55	936.889,99	2.435.223,00	179060500
18	2022	343.996	340.556 (99%)	73.214,43	1.010.748,29	2.637.194,00	174961900
19	2023	347.021	343.551 (99%)	73.858,31	1.084.606,60	2.819.170,00	170634000
20	2024	350.046	346.546 (99%)	74.502,19	1.159.108,79	2.719.514,00	169847600

* Taxa RSD: 214,99 kg/ano/habitante

Fonte: Autora (2018)

APÊNDICE F – Planta UGEE

PLANTA DE DISTRIBUIÇÃO DOS DRENOS INTEGRADOS DE BIOGÁS, PERCOLADO E LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE OPERAÇÃO DE MICROTURBINA (E. O. M.)



Escala: 1:10000
Fonte imagem: Google Earth

Área total do maciço de RSU no ACRN a ser contemplada com drenos: 2.250 m²
Distância entre os drenos: 10 a 20 m
Rede de conexão entre os drenos: 5.800 m lineares (—) Drenos: 80 (○)

Drenos integrados: Projeto em Patente

Fonte: Autora (2018)

APÊNDICE G - Cronograma de implantação da UGEE no ACRN

ATIVIDADES	2018	2018	2019	2019	2019	2019	2033
Estudos e projetos executivos	J J A						
Infraestrutura		S O N					
Instalação de rede coletora de biogás			J F M				
Instalação de estrutura elétrica				A M			
Instalação e ensaios da microturbina					J J		
Contrato de interligação/venda energia						A S	
Autogestão						A S	
Desmobilização e transferência							J F M
Monitoramento	J J A	S O N	J F M	A M	J A	N D	J F M

Fonte: Autora (2018)

APÊNDICE H – Boletim diário veicular

TICKET DE BALANCA-PESAGEM DE SAIDA
CONTRUTORA IMPERIO LTDA
LMS 806 KM 10 - S/N - VIENA
RIBEIRAO DAS NEVES - MG
(31) 3624-3743

ENTRADA: 29/01/2018 10:19:17 SAIDA: 29/01/2018 10:29:33

TICKET N.: 11200 - OPER.ENTRADA:RENATO BARBOSA - OPER. SAIDA:RENATO BARB
OSA

PLACA: PUD0775
Motorista: HEIVALDO
Material: COLETA DOMICILIAR
Forn/Cliente: CONSTRUTORA ISRAEL EIRELI
Transportadora: CONSTRUTORA ISRAEL EIRELI

N. NOTA FISCAL:
OBS: ROTA 5

PESO ENTRADA:	20670Kg	OPERACAO: Recebimento
PESO SAIDA:	11840Kg	
PESO LIQUIDO:	8830Kg	

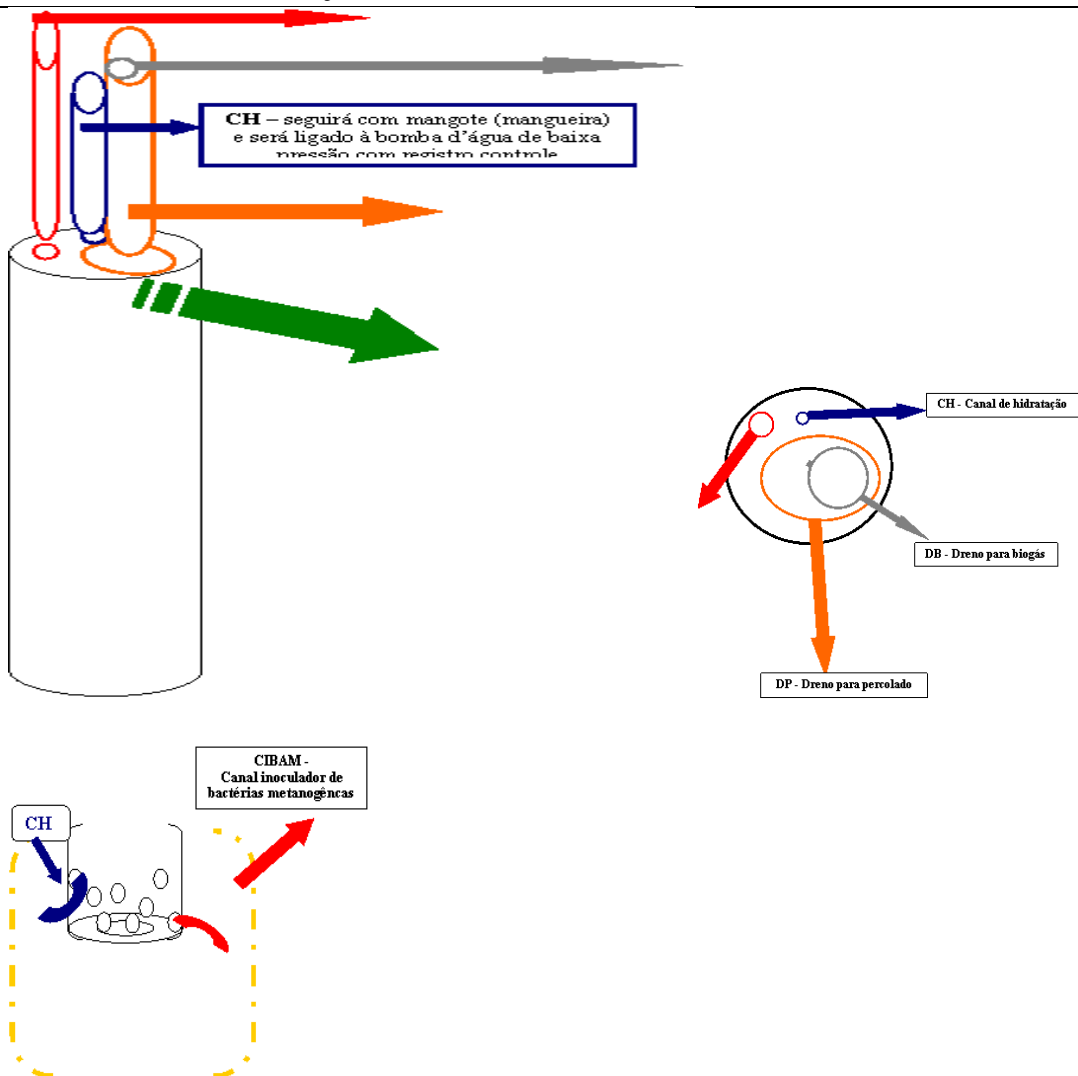
ASS. OPERADOR: _____ ASS. MOTORISTA: _____

Andre Chaves
Fiscal Prefeitura Municipal

Fonte: PMRN (2018)

APÊNDICE I – Patente do dreno

SIACAP - SISTEMA INTEGRADO AUTOMÁTICO PARA CAPTAÇÃO DE BIOGÁS, COLETA DE PERCOLADO, INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS METANOGÊNICAS E HIDRATAÇÃO PARA USO EM ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS



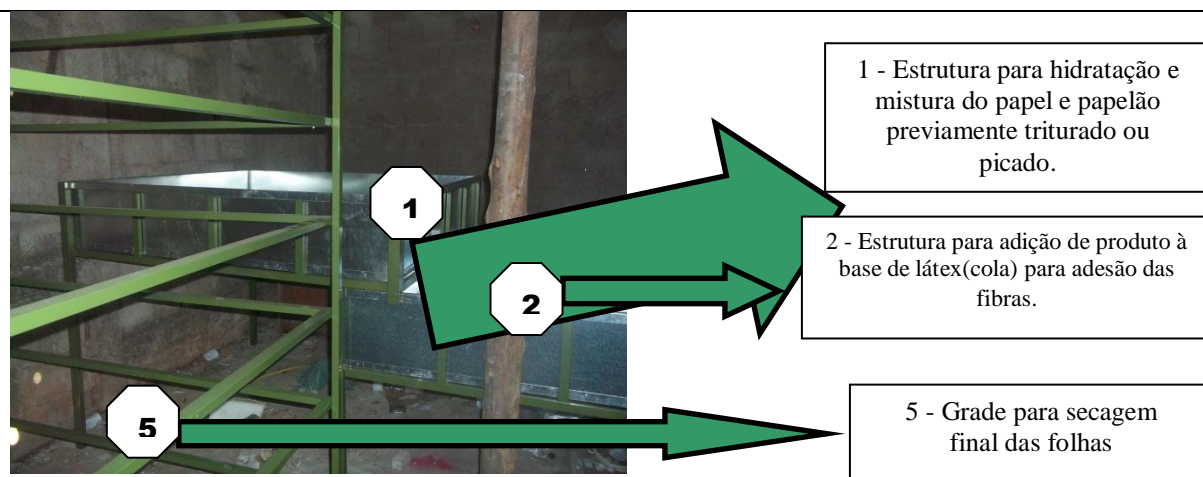
- CIBAM** – seguirá com mangote (mangueira) e será ligado à uma ampola inoculadora para meio de cultura líquido
- DB** – dreno em metal para vazão de biogás, será instalado acima do nível do percolado, possuirá um registro de medida de gás e será ligado à um tanque de armazenamento e saída para purificação
- CH** – seguirá com mangote (mangueira) e será ligado à bomba d'água de baixa pressão com registro controle
- DP** – dreno em mangote (mangueira), com detector de presença de percolado(líquido), será bombeado por draga de sucção, com tanque armazenador e registro de volume

Projeto/Criação/Layout
Márcia Aparecida Silva
MG 5087489
MARÇO DE 2016

Fonte: Autora (2017)

APÊNDICE J – Patente da recicladora

MAQUIPEL – Recicladora manual de papel e papelão



A estrutura é composta por: triturador de papéis em suporte acima dos recipientes de hidratação; recipiente de hidratação e mistura; recipiente de separação (peneiras com gramaturas de acordo com solicitação do cliente); recipiente para adição de produto de adesão (cola látex) e mistura; formas de formação das folhas e desidratação (diversos tamanhos e modelos) e por fim recipiente de secagem final e corte (conforme solicitações).

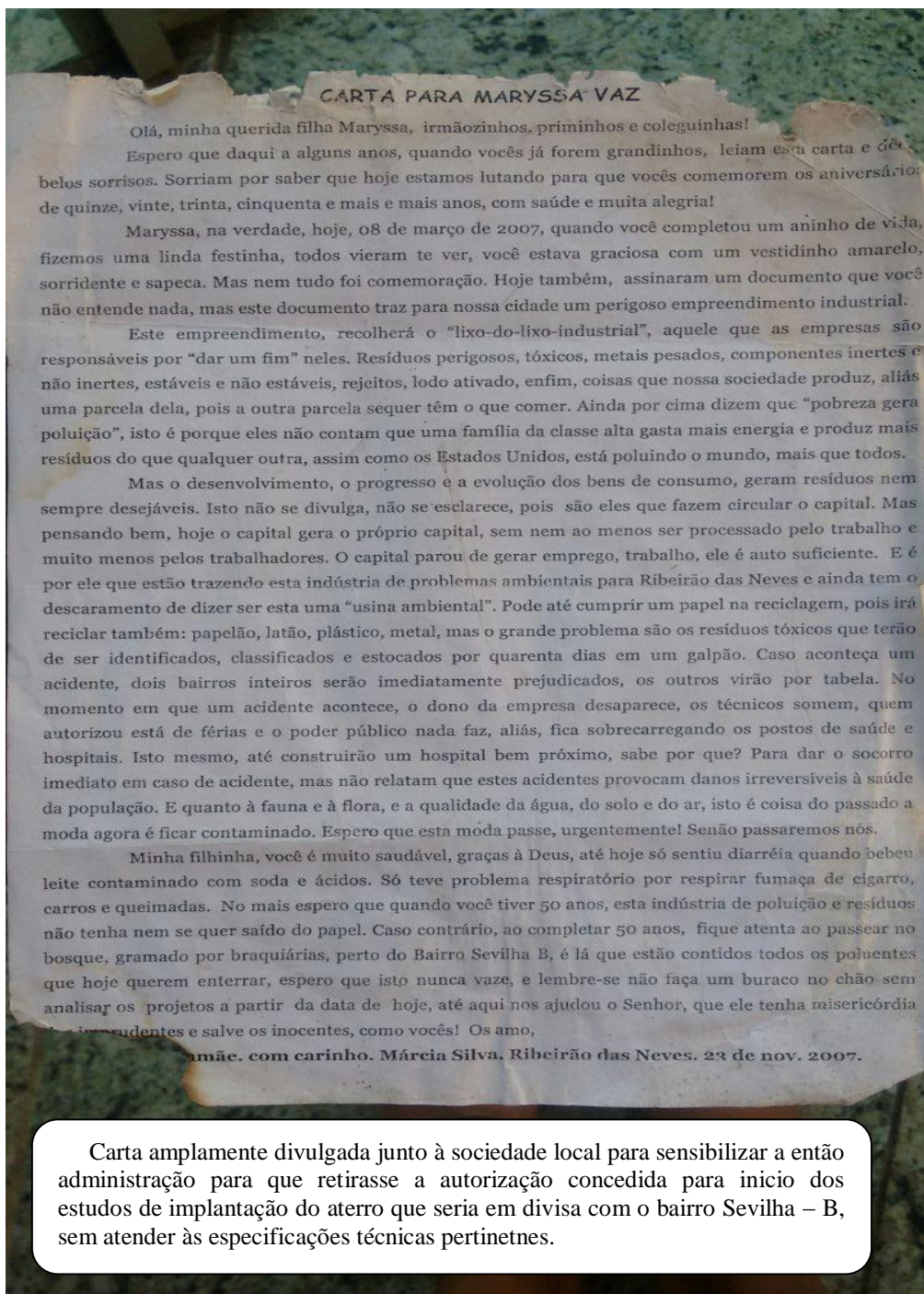
Projeto/ Criação/Layout
Márcia Aparecida Silva
MG 5087489
MARÇO DE 2016

Fonte: Autora (2016)

APÊNDICE – K Relação dos pontos de sucateiros (ferros-velhos) e cooperativa visitados

Nº	Endereço	Status
1	COOMARRIN – LMG 806	Status
2	R. Henrique Sapori, 2530	Florença
3	Al. Tico Tico, 81	Veneza
4	R. Josefa Alves, 1108	Veneza
5	R. Carmelita Braz Mota, 60	Vereda
6	Av. Ruth Brandão de A, 477	San Genaro
7	BR 040 Km 517, 910	San Marino
8	R. Filadélfia, 1139	Granjas
	Primavera	
9	R. Monte Castelo, 3.000	G. Primavera
10	Av. Monte Castelo, 1337	G. Primavera
11	Rua Milton Diniz, 300	Viena
12	R. Rodrigo de Oliveira, 22	Jd. S. Judas
	Tadeu	
13	R. Edvaldo Martins, 405	Atalaia
14	Av. Gávea, 1075	Urca
15	R. Helga Taveira, 69	Luar da
	Pampulha	
16	Al. Dos Albatrozes, 451	Jd. Colonial
17	Rua Hum, 384	Cidade
	Neviana	
18	R. Augusto O. Costa, 81	Savassi
19	R. Aristides dos Santos, 202	Savassi
20	R. Sebastião Hilário, 96	Pedra
	Branca	
21	R. Alzira Caldeira de Paula, 568/A	P. Branca
22	Av. São Sebastião, 217	Maria Helena
23	R. Alice Ventura, 25	Tony
24	Av. Alagoas, 482	Sevilha-B
25	R. Irineu Marcellin, 550	Varzea
	Alegre	
26	Rua Francisco A. Vieira, 756	Sevilha - A

ANEXO A – Registro Histórico



Empresa de lixo industrial quer vir para Neves

O município de Ribeirão das Neves, que vive momento de grande expectativa sobre a implantação de obras para melhoria da qualidade de vida da população, poderá receber empresa que trabalha com resíduos industriais e urbanos. A denúncia foi feita no fechamento desta edição pela presidente da ONG Naturae Vox, Márcia Silva.

De acordo com a ambientalista, a empresa interessada na implantação do processo em Neves já obteve a Licença Prévia (LP) Ad Referendum do Conselho de Política Ambiental (Copam) e agora tenta a Licença de Instalação. "A empresa conseguiu a licença, mas deveria cumprir 45 condicionantes e ela não cumpriu. Já analisei o processo e sei que prerrogativas como a realização de estudo hidrogeológico não foi feito, além da não divulgação sobre o fato à população", acusa.

O processo para implantação da empresa em Ribeirão das Neves, segundo informações, vem sendo estudado desde 2003. Conforme Márcia, a empresa deverá se instalar a 500 metros do bairro Sevilha B, em uma área da Penitenciária José Maria Alckim e o lixo será armazenado nes-

sa região, mas a população não está ciente das consequências de um trabalho como esse para o município. "Impacto visual e depreciação dos imóveis no Sevilha B e adjacências são alguns dos problemas. Além do mais, poderemos ter lixo de toda a região metropolitana, inclusive lixo industrial. Até a água do município ficará comprometida", afirma a ambientalista.

A Prefeitura de Ribeirão das Neves se diz totalmente contrária à implantação da empresa para receber resíduos industriais e urbanos no município. A superintendência de Comunicação Social da Prefeitura esclarece que trata-se de um empreendimento particular e que o terreno pertence ao Estado. "O licenciamento ambiental não é de responsabilidade do município, cabendo também à esfera estadual. Sendo assim, a Prefeitura Municipal não possui autonomia para interferir no processo", informa. No entanto, a Prefeitura considera coerente a realização de uma audiência pública para que a população possa ter conhecimento de todos os detalhes do processo e que também possa ser ouvida.

Ano 2 . Edição 86 . 24 a 30 de abril de 2008

SOCIEDADE CIVIL ORGANIZADA DE RIBEIRÃO DAS NEVES SE MOBILIZA E CONSEGUE APROVAR MOÇÃO CONTRA A INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO DA EMPRESA SGR QIIF PRETENDE TRAZER PARA NEVES LIXO DE PLANEJAMENTO URBANO DE RIBEIRÃO DAS NEVES

Na última reunião do COPLAN (CONSELHO MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO URBANO DE RIBEIRÃO DAS NEVES), em 28/05/08, realizada na Casa dos Conselhos, a sociedade civil se organiza e consegue aprovar Moção que deixa clara posição de contrariedade da implementação da empresa SGR/SA, na área da Penitenciária José Maria Alckim. Sob forte pressão e tentativa de boicotar a votação da Moção, um grupo, liderado pelo Conselheiro Gilberto Pereira do SIND-SAUDE, tentou atropelar a deliberação aprovada na reunião anterior, mas como era a maioria não conseguiram convencer a maioria dos conselheiros que aprovaram a Moção de desaprovação deste empreendimento no Município.

Leia a íntegra da Moção aprovada: "MOÇÃO 01 do COPLAN - O COPLAN, no uso de suas atribuições legais e por seus membros que abaixo assinam, manifestam-se por esta moção, indesejável a instalação neste Município de Ribeirão das Neves, do empreendimento ora em fase de licenciamento no SISEMA sob n.º 16378/2005/001/2006, de responsabilidade da Empresa SGR/AS, isto posto pelo fato de que este tipo de empreendimento não resultará em benefícios substanciais diretos à esta cidade, em face ao potencial depreciativo dos imóveis residenciais, bem como os possíveis danos ambientais e aos recursos hídricos locais e regionais".

Votaram favoráveis, aprovando a Moção os Conselheiros: Márcia Silva-ONG Naturae Vox, Ronaldo Noqueira-Empresário, Wilson Carlos-ACIBEN, Dalva Xavier-ASCOMLUAR, Marilise-CEDEF, Ricardo Ramos ANELCA, Gilberto Santos-SINDAGUA e Vereador Pingo, único vereador presente nesta reunião. Agora a Moção será encaminhada aos órgãos competentes para que estes levem em consideração o anseio da comunidade local.

Lideranças ambientais mantêm posição contra vinda de empresa de resíduos para Neves

A mobilização de entidades ambientais e sociedade civil para impedir a implantação de uma empresa de resíduo sólido em Ribeirão das Neves começa a surtir efeito. Na última segunda-feira, 19, cerca de 120 pessoas do município foram na quarta reunião da Unidade Regional Colegiada (URC) Rio das Velhas do Conselho Estadual de Políticas Ambientais (Copam), realizada em Nova Lima, para acompanhar

o processo de votação da Licença de Instalação do aterro no município. De acordo com a presidente da ONG Naturae vox, Márcia Silva, durante a semana passada houve uma mobilização solicitando que o processo fosse revisto e discutido com a sociedade. Um documento constando irregularidades no processo, segundo Márcia, foi entregue ao secretário estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, José Carlos Carvalho. "Ele

solicitou que fosse retirada de pauta a votação da Licença de Instalação do aterro para resíduos não perigosos Classe II de origem industrial nesta reunião", explica. Conforme Márcia, as lideranças ambientais estão montando uma ação civil pública para reavaliar a questão ambiental e a aquisição do terreno que era do Estado pela empresa, em Ribeirão das Neves.

ANEXO B – LEI N. 3106/2008

LEI Nº 3106/2008

DISPÕE SOBRE PROIBIÇÃO DE RECEBIMENTO DE RESÍDUOS DE NATUREZA DOMICILIAR E/OU RESIDENCIAL PROVENIENTE DE OUTROS MUNICÍPIOS.

**O POVO DO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO
DAS NEVES, POR SEUS
REPRESENTANTES NA CÂMARA
MUNICIPAL, APROVOU, E EU,
PREFEITO MUNICIPAL, EM SEU NOME,
SANCIONO A SEGUINTE LEI:**

Art. 1º Fica vedado aos estabelecimentos de Aterro Sanitário de Resíduos instalados ou que vierem a se instalar no Município de Ribeirão das Neves, o recebimento de resíduos provenientes de outros Municípios, exceto com autorização Legislativa.

Parágrafo Único - Ficam divididos em classes, conforme abaixo, os resíduos a que se refere o caput do presente artigo.

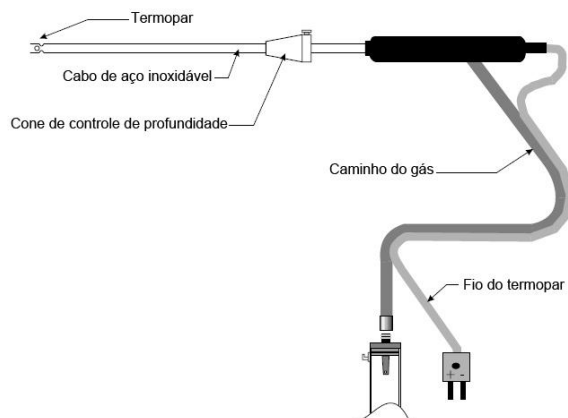
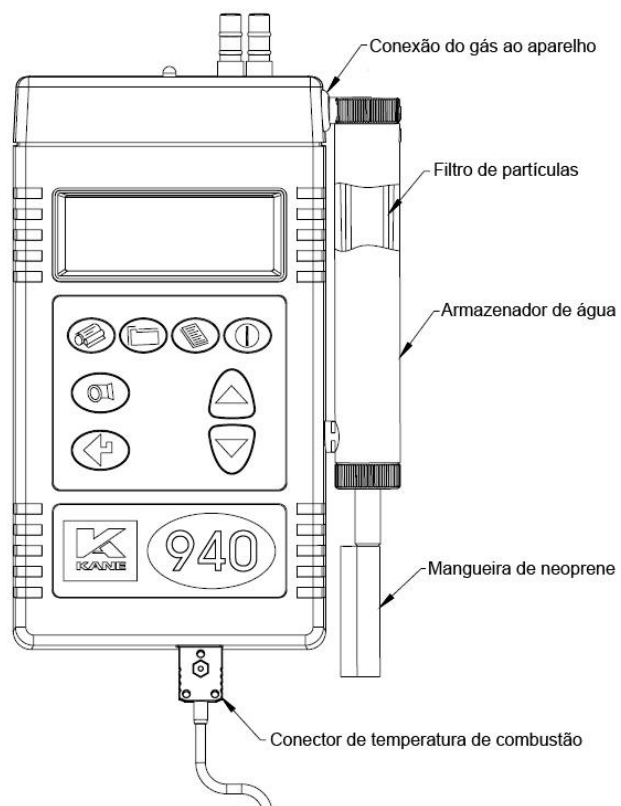
Classe I (perigosos): São classificados como resíduos Classe I ou Perigosos os resíduos sólidos ou mistura de resíduos que, em razão de suas características físico-químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar risco à saúde pública, por provocar ou contribuir para um aumento ou de mortalidade ou de incidência de doenças, e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

Classe IIA (não perigosos, não inertes): podem apresentar propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Ex: restos de matéria orgânica, podas, resíduos domiciliares, dentre outros;

Classe IIB (não perigosos, inertes): quando submetidos a contato estático e dinâmico com água destilada ou deionizada, não tiver nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água

ANEXO C– Descrição do aparelho Kane 940

KANE 940



ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO

Verificações regulares durante a amostragem

Tome cuidado para não exceder as especificações de operação todas as vezes que usar o analisador , especialmente as seguintes:

- Não exceda a temperatura máxima da sonda de combustão
- Não ultrapassar a temperatura interna normal de operação, geralmente de 0 a 40°C.
- **NÃO COLOQUE O APARELHO EM SUPERFÍCIES QUENTES.**
- Mantenha o armazenador de água sempre na vertical. A água condensa na linha da sonda e pode rapidamente encher o armazenador de água quando a sonda se mover. Tome cuidado e verifique o armazenador de água atentamente.
- O filtro de partículas deve estar sempre limpo e não pode ser bloqueado.

PASSANDO PELOS MENUS

5.1 Operação básica

Da TELA PRINCIPAL NETT C 0.0

O2 % . . . 20.9

CO ppm . . . 0000

EFF (G) % . . . 0.0

Pressione para acessar o MENU PRINCIPAL MAIN MENU

-SELECT 3. DISPLAY

2. UNITS 4. SETUP

Pressione para retornar À TELA PRINCIPAL

5.2 Menu de opções e Configurações

5.2.1 Menu principal

O MENU PRINCIPAL consiste de 4 submenus que são mostrados abaixo e detalhados nas páginas seguintes.

Todos os submenus podem ser acessados usando a tecla . Para sair, pressione

Use as teclas e para mover o cursor dentro do menu e mudar os parâmetros.

DICA Pressionar e segurar uma dessas teclas permite uma rolagem dos dados mais rápida.

Parâmetro	Resolução	Precisão	Faixa
Medição de temperatura	1.0°C/F	±2.0°C ±0.3% da	0-600°C
Temperatura de combustão	0.1°C/F	leitura	32 –
Temperatura de entrada		±1°C /F±0.3% da	1112 °F
		leitura	0-50°C
			32 –
			1112 °F
Pressão	0.01 mbar	± 2% da escala	+150mbar
		completa	a -150
			mbar
Medição de gás*	0.1%	±0.2%	0-21%
Oxigênio	1 ppm	±20ppm <400ppm	0-10,000ppm
Monóxido de	0.01%	±5% < 5000ppm	0 – 10%
carbono	1ppm	±10% > 5000ppm	0-5000ppm
(padrão: H	1ppm	±5% da leitura de 0.1% a	0- 100ppm
compensado)	1ppm	10%	0 – 1000ppm
Monóxido de	1ppm	±5ppm < 100ppm	0-5000ppm
carbono		±5% > 100ppm	
(alto alcance)		±2ppm < 30ppm	
Óxido Nítrico		±5ppm >30ppm	
(padrão)		±5ppm < 100ppm	
Óxido Nítrico		±10ppm < 500ppm	
(baixo alcance)		±5% > 500ppm	
Dióxido de		±5ppm < 100ppm	
Nitrogênio		±5% > 100ppm	
Dióxido de			

enxofre

Cálculos	0.1%	± 0.3% da leitura	0-99.9%
Dióxido de	0.1%	± 1.0% da leitura	0-99.9%
carbono**	0.1%	± 1.0% da leitura	0-99.9%
Perdas	0.1%	±0.2%	0-2885.0%
Eficiência			
Excesso de ar			

Fonte: Instrutemp (2017)

ANEXO D - PROINFA



PROGRAMA DE APOIO FINANCEIRO A INVESTIMENTOS EM FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA ELÉTRICA NO ÂMBITO DO PROINFA

1. OBJETIVO

Apoio, com recursos do BNDES, a investimentos em projetos de geração de energia através de fontes alternativas no âmbito do PROINFA, em cumprimento à Lei nº 10.438/02 alterada pela Lei nº 10.762/03, de 26 de abril de 2002 e de 11 de novembro de 2003, respectivamente.

2. BENEFICIÁRIOS

Empresas de geração de Energia Elétrica que tenham firmado Contrato de Compra e Venda de Energia - CCVE com a Eletrobrás no âmbito do PROINFA (Leis 10.438/02 de 26 de abril de 2002, e 10.762/03 de 11 de novembro de 2003)

Nos casos de PCH e energia eólica as empresas postulantes ao apoio financeiro do BNDES deverão ser Sociedades de Propósito Específico – SPEs e constituídas sob a forma de Sociedades Anônimas.

3. RECURSOS

Até R\$ 5,5 bilhões

4. PRAZO DE VIGÊNCIA

Até 30 de dezembro de 2005.

5. FORMA DE APOIO

Apoio Direto, Misto e Indireto automático e não- automático.

6. CONDIÇÕES DE FINANCIAMENTO

- Participação do BNDES: até 70% dos itens financiáveis
- Taxa de Juros: custo financeiro acrescido de remuneração total do BNDES e da remuneração do agente (no apoio indireto)
 - Apoio Direto: TJLP + 3,5% a.a.
 - Apoio Indireto: TJLP + 2% a.a. (dispensa da taxa de intermediação financeira)+ remuneração do Agente (a ser negociado)
- Prazos de carência: até seis meses após a entrada em operação
- Prazo de amortização: até dez anos



PROGRAMA DE APOIO FINANCEIRO A INVESTIMENTOS EM FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA ELÉTRICA NO ÂMBITO DO PROINFA

1. OBJETIVO

Apoio, com recursos do BNDES, a investimentos em projetos de geração de energia através de fontes alternativas no âmbito do PROINFA, em cumprimento à Lei nº 10.438/02 alterada pela Lei nº 10.762/03, de 26 de abril de 2002 e de 11 de novembro de 2003, respectivamente.

2. BENEFICIÁRIOS

Empresas de geração de Energia Elétrica que tenham firmado Contrato de Compra e Venda de Energia - CCVE com a Eletrobrás no âmbito do PROINFA (Leis 10.438/02 de 26 de abril de 2002, e 10.762/03 de 11 de novembro de 2003)

Nos casos de PCH e energia eólica as empresas postulantes ao apoio financeiro do BNDES deverão ser Sociedades de Propósito Específico – SPEs e constituídas sob a forma de Sociedades Anônimas.

3. RECURSOS

Até R\$ 5,5 bilhões

4. PRAZO DE VIGÊNCIA

Até 30 de dezembro de 2005.

5. FORMA DE APOIO

Apoio Direto, Misto e Indireto automático e não- automático.

6. CONDIÇÕES DE FINANCIAMENTO

- **Participação do BNDES:** até 70% dos itens financiáveis
- **Taxa de Juros:** custo financeiro acrescido de remuneração total do BNDES e da remuneração do agente (no apoio indireto)
 - Apoio Direto: TJLP + 3,5% a.a.
 - Apoio Indireto: TJLP + 2% a.a. (dispensa da taxa de intermediação financeira)+ remuneração do Agente (a ser negociado)
- **Prazos de carência:** até seis meses após a entrada em operação
- **Prazo de amortização:** até dez anos

ANEXO E – CIRCULAR CEMIG

CIRCULAR DPR - H / 24 / 2012 Classificação: Público 20 / 03 / 2012

I:\SA\RHGP\TRAB-CONCLUIDOS\Circular Compromisso com mudancas climaticas - Cemig H - V2.doc

COMPROMISSO DA EMPRESA COM AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Comunicamos que, considerando a importância das questões relacionadas às mudanças climáticas, a Diretoria assumiu, em 01/12/2011, o compromisso com “10 Iniciativas para o Clima”, definindo a sua estratégia para mitigação, adaptação e divulgação do tema para a sociedade.

A preparação e o comprometimento da Cemig para uma economia de baixo carbono visam alinhar os seus negócios com base na avaliação dos riscos e oportunidades climáticas, informando à sociedade e aos seus investidores os esforços e as linhas de atuação adotados pela Empresa:

1. Geração de energia por fontes renováveis

A Cemig prioriza a participação de fontes de energias renováveis na composição de sua matriz energética. Cerca de 99% da geração da Empresa é proveniente de fontes renováveis: hidráulica, eólica e gases de processo industriais, o que posiciona nossas emissões de gases do efeito estufa em patamares mínimos, bem inferiores às médias brasileira e mundial do setor elétrico. Também, através da empresa Renova Energia, na qual a Cemig tem participação acionária, a Empresa atua na geração de energia elétrica por meio de fontes alternativas renováveis, como Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e energia eólica.

2. Criação da primeira empresa brasileira de Esco – *Energy Service Company* certificada na ISO 9001 e ligada a uma concessionária de energia

A Efficientia S.A, criada em 2002, atua no desenvolvimento e viabilização de soluções tecnológicas que promovam o uso eficiente de energia e a consequente redução de emissões de gases do efeito estufa nas instalações de clientes de médio e grande porte dos setores comercial, industrial e de serviços.

3. Implementação de projetos de conservação e eficiência energética

A Cemig considera que a eficiência energética representa uma das opções mais eficazes para a redução das emissões de gases do efeito estufa. O Programa de Eficiência Energética Cemig/Aneel é constituído por diversos projetos, em sua maioria plurianuais, visando o desenvolvimento de ações nas comunidades de baixo poder aquisitivo, instituições filantrópicas (hospitais/asilos/creches) e escolas públicas, promovendo a mudança da cultura voltada para o uso eficiente da energia, eliminando-se o desperdício.

4. Atuação na área de gás natural

A Gasmig é uma empresa que tem como acionistas principais a Cemig e a Petrobras com o objetivo de fornecer soluções a partir do uso do gás natural para todos os segmentos de mercado, proporcionando a substituição de combustíveis mais poluentes. A Gasmig vem aumentando sua participação na matriz energética do Estado com a entrada em operação das redes de distribuição do Sul de Minas e do Vale do Aço.

5. Investimento em novas fontes de energia

A Cemig, historicamente, investe em pesquisa e desenvolvimento para viabilizar novas tecnologias, especialmente no que tange à inovação tecnológica para geração de energia limpa. A Empresa já conta com empreendimentos que oferecem energia elétrica em escala comercial advinda de usinas eólicas e de plantas de cogeração. Vários projetos de geração fotovoltaica estão em estudos e/ou implantação, com destaque para o projeto Estádio Mineirão Solar e a

primeira Usina de Geração Fotovoltaica a produzir energia solar em caráter comercial no Brasil. Através da elaboração do Atlas Eólico, a Cemig mapeou o potencial eólico de todo o Estado de Minas Gerais, sinalizando os locais promissores para a implantação de novos empreendimentos. A Empresa já comercializa energia proveniente do biogás, composto por metano e gás carbônico e produzido pela decomposição de lixo de um aterro sanitário. Com essa iniciativa, a Empresa oferece a seus clientes mais uma alternativa de fonte sustentável.

6. Integração do risco carbono na viabilidade técnico-econômica de novos projetos e nas aquisições e fusões de ativos

A Cemig avalia o risco do aumento de emissões de carbono na sua matriz energética, através da realização de *due-diligence*² ambiental, relativa à aquisição e fusão de novos ativos, ou considerando-o no cálculo da viabilidade técnico-econômica de novos projetos. Essa iniciativa tem auxiliado a Empresa na tomada de decisão, considerando-se a estratégia climática na expansão de seus negócios.

7. Avaliação dos riscos e oportunidades das alterações climáticas

A Cemig identifica os principais riscos e oportunidades decorrentes das alterações climáticas para seus negócios e desenvolve medidas de monitoramento e controle. Para mais detalhes, recomenda-se a leitura das respostas da Cemig ao *Carbon Disclosure Project – CDP*.

8. Melhoria na eficiência de processos

A Cemig está revitalizando sua única usina térmica, capacidade instalada de 130 MW, que funciona com óleo combustível, proporcionando melhoria na eficiência da usina e contribuindo diretamente para a redução das emissões de gases do efeito estufa. A redução das perdas de energia no sistema elétrico é um dos objetivos estratégicos da Cemig, sendo que existem diversos projetos dedicados a esse propósito. Reduzindo-se as perdas, indiretamente se reduz as emissões de gases do efeito estufa³ (Escopo 2 *GHG Protocol*).

9. Redução de emissões no transporte

Por meio de sua Política de Renovação e Adequação da Frota de Veículos, que estabelece um prazo de cinco anos para a idade média da frota, a Cemig prioriza a aquisição de veículos mais eficientes e econômicos. Alinhado à Política, o Programa de Controle de Abastecimento da Frota utilizado pela Cemig possibilita uma redução efetiva do consumo de combustíveis dos veículos.

10. Programa de tecnologia e inovação

A Cemig possui parcerias com universidades e instituições de pesquisa, a fim de permitir participação ativa no processo de avanços tecnológicos. A Empresa está instalando, inicialmente na Região de Sete Lagoas/MG, as Redes Inteligentes, também conhecidas como *Smart Grid*. Essa iniciativa permitirá a automação de redes, sistemas de medição, geração e armazenamento distribuído de energia, contribuindo para a diminuição de perdas e, conseqüentemente, a redução de emissões. Adicionalmente, a Empresa realiza importantes inovações em prol do clima, tais como veículos elétricos, aquecimento solar e sistemas fotovoltaicos de geração de energia

Original assinado por:

DJALMA BASTOS DE MORAIS ARLINDO PORTO NETO

Diretor Presidente Diretor Vice-Presidente

Distribuição: Geral

ANEXO F - INFORME TÉCNICO DA BRASMETANO

Sistema para extração, captura, transporte, tratamento e queima do biogás provenientes de aterros sanitários.

O biogás (metano + CO₂, entre outros), no LANDBOX, é aplicável para a geração de energia elétrica, e ou térmica, ou para a destruição do metano direta em torres enclausuradas segundo as normas internacionais. Assim, é possível o benefício de obtenção de créditos de carbono, já que o metano destruído significa redução voluntária do efeito estufa.

Diferenciais

- **Curto prazo de fornecimento e implantação;**
- **Unidades fornecidas prontas para instalação e uso;**
- **Oferece modularidade, o Sistema pode ser ampliado com o crescimento do aterro sanitário;**
- **Dispensa grandes construções civis, requerendo apenas de sapatas de apoio às Unidades do Sistema;**
- **O Sistema pode ser prontamente removido de um local para outro do próprio aterro, conforme a necessidade ou ser removido parcial ou totalmente à outro destino;**
- **Baixo consumo de energia elétrica, onde a geração de energia pode ser utilizada localmente para funcionamento dos equipamentos do Sistema;**
- **Minimização de ruídos através do enclausuramento de cada unidade.**
- **Sistema automático, dispensa a presença de operadores permanente;**
- **Monitoramento permanente e automático da qualidade do biogás, como parâmetro operacional do Sistema, com emissão de relatórios "on line";**
- **Baixo custo de manutenção preventiva, peças de reposição prontamente disponíveis no mercado Nacional;**
- **O benefícios de obtenção de crédito de carbono;**

http://www.brasmetano.com.br/sistemas/sistema_de_captacao_transporte_e_queima_do_biogas.php?lang=ptbr

ANEXO G– Recuperação de gás metano e geração de energia elétrica

Recuperação estimada de gás metano e potência de geração de energia elétrica

ANO	GÁS METANO GERAÇÃO (t/CH ₄)	RECUPERAÇÃO DE GÁS METANO (t/CH ₄)	TAXA DE VAZÃO DO BIOGÁS DE ATERRO (Nm ³ /h)	POTÊNCIA DE ENERGIA ELÉTRICA (MW)
1	-	-	-	-
2	524	-	167	-
3	976	-	311	-
4	1.368	537	436	0,3
5	1.708	838	544	0,4
6	2.005	984	639	0,5
7	2.266	1.112	722	0,6
8	2.496	1.225	795	0,6
9	2.700	1.325	860	0,7
10	2.882	1.698	918	0,9
11	3.045	1.794	970	0,9
12	3.192	1.880	1.017	1,0
13	3.325	1.958	1.059	1,0
14	3.446	2.030	1.098	1,0
15	3.557	2.095	1.133	1,1
16	3.659	2.155	1.166	1,1
17	3.754	2.211	1.196	1,1
18	3.842	2.263	1.224	1,2
19	3.924	2.312	1.250	1,2
20	4.002	2.357	1.275	1,3
21	4.074	2.400	1.298	1,4
22	3.564	2.624	1.135	0,3
23	3.130	2.305	997	0,4
24	2.761	2.033	879	0,5

Fonte: Atlas (2009)