



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

MARCEL SOUSA MARQUES

**QUALIDADE AMBIENTAL E ESTUDO DA PRODUÇÃO E APROVEITAMENTO
ENERGÉTICO DO BIOGÁS PRODUZIDO PELO ATERRO SANITÁRIO DE
PALMAS – TO**

**Palmas - TO
2019**

MARCEL SOUSA MARQUES

**QUALIDADE AMBIENTAL E ESTUDO DA PRODUÇÃO E APROVEITAMENTO
ENERGÉTICO DO BIOGÁS PRODUZIDO PELO ATERRO SANITÁRIO DE
PALMAS – TO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

**PALMAS - TO
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

M357q Marques, Marcel Sousa .

Qualidade ambiental e estudo da produção e aproveitamento energético do biogás produzido pelo Aterro Sanitário de Palmas - TO. / Marcel Sousa Marques. – Palmas, TO, 2019.

129 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2019.

Orientador: Marcelo Mendes Pedroza

1. Monitoramento Ambiental. 2. Aterro Sanitário. 3. Biogás. 4. Aproveitamento Energético. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

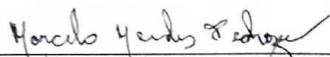
FOLHA DE APROVAÇÃO

MARCEL SOUSA MARQUES

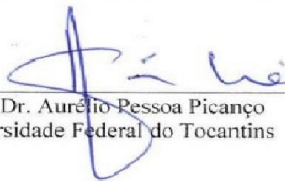
QUALIDADE AMBIENTAL E ESTUDO DA PRODUÇÃO E APROVEITAMENTO
ENERGÉTICO DO BIOGÁS PRODUZIDO PELO ATERRO SANITÁRIO DE
PALMAS – TO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental,
Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca
Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (Presidente)



Prof. Dr. Aurélio Pessoa Picanço
Universidade Federal do Tocantins



Prof. Dr. João Evangelista Marques Soares
Instituto 20 de Maio de Ensino, Ciência e Tecnologia – Escola de Governo de Palmas

Aprovada em: 22 de janeiro de 2019
Local de defesa: sala 40 do bloco 1
Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas

Dedico essa conquista a meus pais, Ivo Teodoro Marques e Sueli Isabel de Sousa Marques pelo exemplo de amor, vida, companheirismo e por nunca deixarem de acreditar em mim.

Minha base!

“Por isso não tema, pois estou com você; não tenha medo, pois sou o seu Deus. Eu o fortalecerei e o ajudarei; eu o segurarei com a minha mão direita vitoriosa.”

Isaías 41:10.

AGRADECIMENTOS

A Deus meu criador, que sempre me permitiu realizar todas as minhas metas e sonhos, sempre se fazendo presente por intermédio de seu Espírito Santo nas horas difíceis e que me fortalece para seguir rumo a minha realização profissional.

A meus pais, Ivo Teodoro Marques e Sueli Isabel de Sousa Marques, pela educação recebida e pela contribuição emocional, financeira e por sempre estarem ao meu lado em todas as circunstâncias, que foram essenciais para a realização de todas as minhas conquistas. Meu tudo!

Ao Professor Doutor Marcelo Mendes Pedroza, mais que um orientador, se tornou um amigo, pela paciência, incentivo, aprendizado, compreensão ao longo do desenvolvimento do presente estudo, e pela demonstração de preocupação com o meu aprendizado. Obrigado por tudo professor, seu amor pela docência nos faz ansiar a ser profissionais melhores em todos os projetos que nos propomos a fazer!

Ao Professor Doutor Aurélio Pêsoa Picanço, membro da banca examinadora, que além de contribuir com os seus conhecimentos em sala de aula, transmitiu ensinamentos valiosos sobre a vida profissional que são essenciais para o nosso crescimento profissional e pessoal. Obrigado por tudo professor!

Ao Professor Doutor João Evangelista Marques Soares por aceitar o pedido de ser membro avaliador deste trabalho e por contribuir ricamente com a minha formação profissional, passando ensinamentos valiosos que foram de grande valia para o meu crescimento profissional e pessoal. Obrigado professor! Sua colaboração se tornou essencial para a execução do presente trabalho.

A Professora Doutora Adriana Antunes Lopes, minha orientadora da graduação, por sempre me incentivar e impulsionar no ramo da pesquisa, me auxiliando e dando todo suporte acadêmico necessário as minhas publicações científicas, me incentivando e impulsionando a seguir na carreira de docente. Muito obrigado por tudo professora!

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), Campus de Palmas, pelo apoio e suporte ao desenvolvimento do presente estudo.

Ao Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins (LARSEN/IFTO), Campus

de Palmas, pelo apoio e incentivo a pesquisa, e por todo suporte técnico no preparo das amostras coletadas na fase de execução do presente estudo. Muito obrigado a todos os colaboradores que me auxiliaram nesta etapa!

A Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO pela autorização da pesquisa no Aterro Sanitário municipal, e pela disponibilização dos dados inerentes a temática abordada pelo presente estudo.

Ao Senhor Antônio Adeluzio Gomes Azevedo, técnico operacional da Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO por todo auxílio no momento das coletas realizadas no Aterro Sanitário de Palmas – TO.

As minhas amigas que o mestrado me proporcionou, Camila Ribeiro Rodrigues e sua mãe Dona Madalena; e Katianne Lopes de Paiva, pelo apoio, incentivo e por sempre estarem dispostas a me ajudarem no que for preciso. A amizade de vocês foi uma das melhores coisas que o mestrado me proporcionou!

E, a todos os meus amigos, que não citarei nomes, mas, que de uma forma ou de outra, sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos, me impulsionando e me fortalecendo para persistir em todos os meus sonhos. Sem vocês, não teria sido capaz de chegar tão longe!

RESUMO

O presente trabalho, apresenta o estudo da produção e aproveitamento energético do biogás produzido no Aterro Sanitário de Palmas, Tocantins, em conjunto com o monitoramento ambiental da qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos da área de interferência direta do Aterro Sanitário, e a verificação da conformidade ambiental do empreendimento por meio do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR. As amostras de águas subterrâneas e superficiais foram coletadas no mês de abril de 2018 nos poços de monitoramento instalados no Aterro Sanitário, seguindo as normas e legislações ambientais vigentes inerentes a temática abordada. Assim, são apresentados os resultados obtidos para os parâmetros pH, temperatura, sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos voláteis, turbidez, alcalinidade, gás arsênio dissolvido no meio líquido, os cianetos, e os metais: bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, mercúrio e níquel, realizados em ambas as amostras de águas superficiais e subterrâneas realizadas pelo desenvolvimento do presente estudo. O estudo de geração de biogás produzido pelo Aterro Sanitário foi conduzido conforme os dados disponibilizados pelo município acerca da quantidade e qualidade dos resíduos dispostos no Aterro Sanitário, além das condições climáticas locais, que interferem diretamente na estabilização da matéria orgânica confinada no interior do maciço de resíduos, o que de forma direta, interfere na geração do biogás pelo Aterro Sanitário. A verificação do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR, deu-se por meio da verificação das condicionantes presentes no indicador, além de informações colhidas *in-loco* e repassadas pelo Economista Antônio Adeluzio Gomes Azevedo, técnico operacional do Aterro Sanitário. Conclui-se assim, com o desenvolvimento do presente estudo, que as águas do lençol freático e superficiais na área de interferência direta do Aterro Sanitário de Palmas - TO, não possuem poluição/contaminação decorrentes do uso atual da área como Aterro Sanitário, com base nos dados reportados na literatura e confirmados por meio da execução do presente estudo. A aferição do IQR no Aterro Sanitário de Palmas – TO, apresentou um somatório de 9,3 pontos, refletindo assim, em condições adequadas de acomodação final dos resíduos sólidos urbanos do município. No tocante a geração de biogás, torna-se possível abastecer cerca de 3.251 residências com energia elétrica gerada pelo biogás, transmitindo assim, na real viabilidade do aproveitamento energético do biogás gerado pelo Aterro Sanitário de Palmas, Tocantins.

Palavras – Chave: Monitoramento Ambiental, Resíduos Sólidos Urbanos, Aterro Sanitário, Biogás, Aproveitamento Energético.

ABSTRACT

The present work presents the study of the energy production and use of the biogas produced at Palmas Landfill, Tocantins, together with the environmental monitoring of the quality of the surface and groundwater resources of the area of direct interference of the Landfill, and the verification of the environmental compliance of the project through the Residual Landfill Quality Index - RQI. The groundwater and surface water samples were collected in April 2018 in the monitoring wells installed in the Sanitary Landfill, following the current norms and environmental legislation inherent to the subject matter. Thus, the results obtained for the parameters pH, temperature, total solids, suspended solids and volatile solids, turbidity, alkalinity, arsenic gas dissolved in the liquid medium, cyanides, and metals are presented: barium, cadmium, lead, copper, chromium, iron, mercury and nickel, performed in both the surface and groundwater samples carried out by the development of the present study. The study of biogas production produced by the Landfill was conducted according to the data provided by the municipality about the quantity and quality of the residues disposed in the Sanitary Landfill, in addition to the local climatic conditions, that directly interfere in the stabilization of the organic matter confined inside the massif of waste, which in a direct way, interferes with the generation of biogas by Landfill. The verification of the Residual Landfill Quality Index (RQI), was verified through the verification of the conditioners present in the indicator, as well as information collected locally and passed on by the Economist Antônio Adeluzio Gomes Azevedo, an operational technician of the Landfill. It is concluded, with the development of the present study, that the ground water and surface waters in the area of direct interference of the Sanitary Landfill of Palmas - TO, do not have pollution/contamination resulting from the current use of the area as Landfill, based on in the data reported in the literature and confirmed through the execution of the present study. The RQI measurement at Palmas Sanitary Landfill - TO, presented a sum of 9.3 points, reflecting, in this way, adequate conditions for final accommodation of municipal solid waste. With regard to the generation of biogas, it is possible to supply about 3,251 residences with electricity generated by biogas, thus transmitting, in the real viability of the energy utilization of the biogas generated by the Landfill of Palmas, Tocantins.

Keywords: Environmental Monitoring, Urban Solid Waste, Landfill, Biogas, Energy Utilization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 4.2: Fases da biodegradação anaeróbia da matéria orgânica em Aterros Sanitários, com seus subprodutos gerados.	35
Figura 6.1: Pesagem e aferição dos RSU para destinação final no Aterro Sanitário de Palmas – TO.....	65
Figura 6.2: Disposição dos RSU na célula de destinação final do Aterro Sanitário de Palmas – TO.....	65
Figura 6.3: Isolamento físico do Aterro Sanitário de Palmas - TO.....	66
Figura 6.4: Visão da área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.....	67
Figura 6.5: Visão da entrada do Aterro Sanitário de Palmas – TO, com destaque no cinturão verde instalado.....	67
Figura 6.6: Visão Frontal da área de pesagem do Aterro Sanitário de Palmas - TO.	68
Figura 6.7: Visão Frontal da entrada do Aterro Sanitário de Palmas - TO.....	69
Figura 6.8: Sinalização interna do Aterro Sanitário de Palmas - TO.....	69
Figura 6.9: Professor João Marques recepcionando os visitantes no Museu do Lixo do Aterro Sanitário de Palmas - TO.....	70
Figura 6.10: Poço de monitoramento do lençol freático instalado na área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.	72
Figura 6.11: Coleta da amostra de água subterrânea no poço de monitoramento do lençol freático instalado na área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.	73
Figura 6.12: Coleta da amostra de água superficial no olho d'água na área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.	77
Figura 6.13: Coleta da amostra de percolado no sistema de tratamento instalado na área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.	81

Figura 6.14: Coleta da amostra de percolado no sistema de tratamento instalado na área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.	82
Figura 6.15: Coleta da amostra de percolado no sistema de tratamento instalado na área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.	82
Figura 6.16: Coleta da amostra de percolado no sistema de tratamento instalado na área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.	83
Figura 6.17: Gráfico da estimativa das emissões dos principais gases (modelo LandGEM 3.02) do Aterro Sanitário de Palmas – TO (2001 – 2141).	98
Figura 6.18: Estimativa da emissão de metano (modelo LandGEM 3.02) do Aterro Sanitário de Palmas – TO (2001 – 2141).	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Composição típica do biogás de Aterros Sanitários de resíduos sólidos urbanos.	33
Tabela 4.2: Duração das fases de degradação da matéria orgânica em Aterros Sanitários.....	38
Tabela 4.3: Fator de correção de metano – FCM.	44
Tabela 4.4: Teor de carbono orgânico – COD em cada componente do RSU.....	45
Tabela 6.1: Dados do monitoramento das águas subterrâneas coletadas na área de estudo, referentes ao parâmetro de alcalinidade.	74
Tabela 6.2: Dados do monitoramento das águas subterrâneas coletadas na área de estudo, referentes aos parâmetros da série de sólidos.....	75
Tabela 6.3: Dados do monitoramento do lençol freático da área de estudo.....	76
Tabela 6.4: Dados do monitoramento das águas superficiais coletadas na área de estudo, referentes ao parâmetro de alcalinidade.	78
Tabela 6.5: Dados do monitoramento das águas superficiais coletadas na área de estudo, referentes aos parâmetros da série de sólidos.....	79
Tabela 6.6: Dados do monitoramento das águas superficiais da área de estudo.....	80
Tabela 6.7: Dados do monitoramento dos líquidos e percolados coletados no sistema de tratamento instalado na área de estudo, referentes ao parâmetro de alcalinidade.	84
Tabela 6.8: Dados do monitoramento dos líquidos e percolados coletados no sistema de tratamento instalado na área de estudo, referentes aos parâmetros da série de sólidos.....	85
Tabela 6.9: Dados do monitoramento dos líquidos e percolados coletados no sistema de tratamento instalado na área de estudo.	86
Tabela 6.10: Evolução da População da zona urbana do município de Palmas – TO.	88
Tabela 6.11: Evolução da População do Distrito de Taquaruçu – TO.	89

Tabela 6.12: Evolução da População do Distrito de Buritirana – TO.....	90
Tabela 6.13: Evolução da População do município de Palmas – TO.....	91
Tabela 6.14: Geração de RSU no Brasil.....	92
Tabela 6.15: Prognóstico da quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados por ano pelo município de Palmas – TO (2018 – 2043).....	93
Tabela 6.16: Composição Gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município de Palmas – TO.....	94
Tabela 6.17: Valores de emissão de metano para o Aterro Sanitário de Palmas – TO.....	97
Tabela 6.18: Valores da vazão do biogás para o Aterro Sanitário de Palmas – TO gerada pelo software LandGEM 3.02, com uma eficiência de coleta de 75%.....	102
Tabela 6.19: Resultados da Planilha de cálculo do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR (Subtotal 1).	105
Tabela 6.20: Resultados da Planilha de cálculo do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR (Subtotal 2.1).	107
Tabela 6.21: Resultados da Planilha de cálculo do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR (Subtotal 3).	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANA	Agência Nacional de Águas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COD	Carbono Orgânico Degradável
COD _f	Carbono Orgânico Degradável em Condições Anaeróbias
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
FCM	Fator de Correção do Metano
GEE	Gases Causadores de Efeito Estufa
GNV	Gás Natural Veicular
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
IQA	Índice de Qualidade das Águas
IQR	Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos
k	Taxa de Geração de Metano
L ₀	Potencial de Geração de Metano
L1	Lagoa de Tratamento 1
L2	Lagoa de Tratamento 2

L3	Lagoa de Tratamento 3
LARSEN	Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética
LOM	Lei Orgânica Municipal
LP	Lagoa de Polimento
NATURATINS	Instituto Natureza do Tocantins
NBR	Norma Brasileira Registrada
PERS	Plano Estadual de Resíduos Sólidos
PGIRS	Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PGRS	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PJ6	Poço de Monitoramento do Lençol Freático a Jusante 6
PJ7	Poço de Monitoramento do Lençol Freático a Jusante 7
PM5	Poço de Monitoramento do Lençol Freático a Montante 5
PMS	Plano Municipal de Saneamento
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PVC	Policloreto de Vinila
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEMARH	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SEPLAN	Secretaria Estadual do Planejamento e Orçamento
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
2	JUSTIFICATIVA	23
3	OBJETIVOS	25
3.1	Objetivo Geral	25
3.2	Objetivos Específicos	25
4	REFERENCIAL TEÓRICO	26
4.1	Monitoramento ambiental em Aterros Sanitários	26
4.1.1	Monitoramento ambiental das águas subterrâneas e superficiais	27
4.1.2	Monitoramento ambiental dos metais pesados e outras substâncias tóxicas	28
4.1.3	Monitoramento ambiental do solo	29
4.1.4	Monitoramento ambiental das emissões atmosféricas	30
4.1.5	Monitoramento ambiental dos líquidos e percolados	31
4.2	Biogás de Aterros Sanitários	32
4.2.1	Geração do biogás em Aterros Sanitários	34
4.2.1.1	Etapas da geração de biogás	35
4.2.1.2	Estimativa da geração teórica de biogás	40
4.2.1.3	Modelo cinético de geração de biogás (Scholl-Canyon)	42
4.2.1.3.1	Equação da produção de metano em cada ano estudado	42
4.2.1.3.2	Equação do potencial de geração de metano – L_0	43
4.2.2	Aproveitamento ambiental do biogás	46
4.2.3	Pré-tratamento do biogás	48
4.2.4	Impactos ambientais gerados pelo biogás	51

4.3	Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos - IQR	53
5	MATERIAIS E MÉTODOS	56
5.1	Localização e descrição da área de estudo	56
5.2	Formato da pesquisa	56
5.3	Visitas técnicas	56
5.4	Análise da infraestrutura física do Aterro Sanitário	57
5.5	Amostragem de água subterrânea	57
5.5.1	Análise das amostras de água	59
5.5.1.1	Ensaio físico-químico	59
5.5.1.2	Análise dos Resultados das amostras de água	59
5.6	Amostragem do percolado (chorume) produzido pelo Aterro Sanitário	60
5.6.1	Análise das amostras de percolado (chorume)	61
5.6.1.1	Ensaio físico-químico	61
5.6.1.2	Análise dos Resultados das amostras de percolado (chorume)	61
5.7	Estimativa da geração teórica do biogás	62
5.8	Aplicação do IQR	62
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
6.1	Indicadores da Estrutura Física do Aterro Sanitário de Palmas	64
6.2	Qualidade ambiental das águas subterrâneas	71
6.3	Qualidade ambiental da água superficial	76
6.4	Qualidade ambiental dos líquidos e percolados	80
6.5	Estimativa da geração teórica do biogás no Aterro Sanitário de Palmas - TO	87
6.5.1	Estimativa do crescimento populacional para o município de Palmas - TO	87

6.5.2	Estimativa da geração de resíduos sólidos urbanos no município de Palmas - TO	91
6.5.2.1	Cálculo do carbono orgânico degradável (COD)	93
6.5.2.2	Cálculo da fração do carbono orgânico degradável dissociada (CODf)	94
6.5.2.3	Cálculo do potencial de geração de metano dos resíduos (L_0)	95
6.5.2.4	Cálculo da quantidade de metano gerado (CH_4)	95
6.5.3	Equivalência energética do biogás gerado no Aterro Sanitário de Palmas	100
6.6	Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos - IQR	104
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	111
7.1	Qualidade ambiental do Aterro Sanitário de Palmas - TO	111
7.2	Estudo da produção e aproveitamento energético do biogás gerado no Aterro Sanitário de Palmas - TO	111
7.3	Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR	112
7.4	Recomendações a trabalhos futuros	112
	REFERÊNCIAS	114
	ANEXOS	128
	ANEXO 1 - Modelo de Planilha utilizada para o cálculo do IQR	128
	ANEXO 2 – Imagem da Locação dos Pontos de Coleta das amostras de águas subterrâneas e de percolado do Aterro Sanitário de Palmas – TO	129

1 INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado das cidades, em concomitância com a produção exacerbada de resíduos, está contribuindo para o agravamento das condições sanitárias e ambientais nos grandes centros urbanos (MIRANDA, 2011). A produção de resíduos desordenada, contribui para o seu descarte em áreas que não estão preparadas para recebê-los, agravando os impactos ambientais negativos, decorrentes da contaminação de recursos hídricos locais pela presença dos resíduos na água, agravando assim as condições sanitárias, e expondo a população a doenças provenientes dos vetores, estes, atraídos pela presença desses resíduos em estado de degradação biológica.

Segundo dados disponibilizados pelo Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Tocantins (SEMARH, 2016), apenas cerca de 2,16 % dos municípios tocantinenses contam com um Aterro Sanitário instalado e em funcionamento em sua sede municipal. O maior problema está relacionado a má gestão dos resíduos sólidos urbanos em sua acomodação final. Cerca de 5,03% dos municípios tocantinenses destinam seus resíduos em Aterros Controlados, e a grande maioria, cerca de 92,81 % dos municípios, ainda destinam seus resíduos sólidos em vazadouros a céu aberto, ocasionando riscos eminentes ao meio ambiente local.

No Brasil, de acordo com dados disponibilizados pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2016), a geração média diária de lixo em 2014 era de cerca de 1,062 kg.hab.dia⁻¹, hoje, essa geração é de cerca de 1,071 kg.hab./dia⁻¹. Em relação a quantidade de toneladas, a produção em 2015 era de cerca de 218.874 t.dia⁻¹. Com o aumento progressivo da produção dos resíduos sólidos, e sua subsequente característica de não biodegradabilidade, o problema gerado em torno do descarte incorreto dos resíduos, em concomitância com a falta de tratamento anterior à sua disposição final, agrava-se de forma significativa, visto que, grande parte dos municípios tocantinenses descartam seus resíduos sólidos urbanos de forma irregular.

A Lei nº 12.305/10 (BRASIL, 2010b), que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, define as características específicas dos locais de disposição final de resíduos sólidos urbanos, como sendo um local que além de ter sido concebido conforme as normas e legislações específicas vigentes para tal destinação, vise a amenização dos impactos ambientais negativos decorrentes desse tipo de uso específico da área.

Mas, para que essa destinação final seja adequada, torna-se necessário que algumas normas operacionais específicas sejam seguidas, sendo indispensáveis para se calcular a dimensão dos riscos associados a instalação e operação de um Aterro Sanitário, como por exemplo, a avaliação contínua do local de disposição final dos resíduos sólidos urbanos (REICHERT, 2007).

É imprescindível que cada município, em seu Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, apresente e utilize formas alternativas (unidades de compostagem, unidades de tratamento por incineração, unidades de triagem para reciclagem) para a destinação final dos resíduos sólidos, cumprindo assim, todas as normas propostas pela legislação ambiental vigente (BRASIL, 2010b).

A disposição de resíduos sólidos urbanos em Aterros Sanitários é a técnica de disposição final mais difundida em todo mundo (REICHERT, 2007). Porém, enquanto novas tecnologias de destinação final ou reaproveitamento energético desses resíduos de forma ambientalmente adequada não surgem, o Aterro Sanitário é essencial para qualquer tipo de manejo e acomodação final de resíduos sólidos urbanos.

Mesmo obedecendo todas as normas de instalação e operação de um Aterro Sanitário, os problemas oriundos de sua instalação são facilmente detectados e dificilmente remediados (BARREIRA, 2005). A produção de percolato gerado biologicamente pela decomposição anaeróbia da matéria orgânica confinada nas células do Aterro, pode contaminar toda área de influência direta do maciço de resíduos, além de gerar inúmeros problemas ambientais quando este não é tratado de forma adequada e lançado no solo desprotegido (SISINNO & OLIVEIRA, 2000).

Devido a grande diversidade biológica e estrutural de cada resíduo sólido existente, obras de engenharia específicas deverão ser criadas com o intuito de conter e controlar os resíduos ali acondicionados (REICHERT, 2007). Mas, para isso, estudos prévios sobre os impactos ambientais negativos decorrentes da degradação física e estrutural dos resíduos sólidos ali dispostos, deverão ser realizados, com o intuito de escolher a técnica de engenharia mais adaptável aquele tipo de resíduo.

As melhorias observadas nas áreas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos são realizadas de forma paliativas, não persistindo de forma duradoura e eficaz. De forma geral,

são realizadas como respostas a notificações dos órgãos ambientais, responsáveis pelo monitoramento e regulamentação ambiental de tais atividades (MARQUES, 2016).

A disposição final de forma inadequada, tem sido observada em municípios que não possuem uma temática ambiental vigorante em sua pasta de governo, onde, outras atividades são tomadas como prioridades de governo, e ações referentes a temática não fazem parte de suas metas emergenciais, e não possuem um orçamento adequado para o gerenciamento ambiental assertivo e eficaz dos resíduos sólidos urbanos do município (COSTA, 2015).

A degradação anaeróbia da massa de resíduos confinada no interior do Aterro, ocorre em condições anóxicas, em decorrência da ação de microrganismos específicos, transformando a matéria orgânica disponível em percolato e biogás. A composição média do biogás gerado em Aterros Sanitários corresponde a cerca de 60% de metano (CH_4), 35% de dióxido de carbono (CO_2) e os outros 5%, correspondem aos gases responsáveis pelo efeito estufa, como compostos nitrogenados, sulfatados, vapor de água e monóxido de carbono (PECORA, FIGUEIREDO e VELÁZQUEZ, 2008).

O gás metano (CH_4) é um dos compostos presentes no biogás que possui um maior efeito deletério ao meio ambiente, pois, além de contribuir para o agravamento do efeito estufa, também possui um efeito tóxico 21 vezes maior que o dióxido de carbono (CO_2) (MOTA, 1997; BRAND, BLAMEY et al., 2016; KALYUZHAY, COLLINS e CHISTOSERDOVA, 2019). Dessa forma, torna-se necessário que haja todo um controle das emissões atmosféricas de um Aterro Sanitário, capturando e conduzindo todo o biogás a um tratamento prévio, e quando viável, realizar o aproveitamento energético do gás metano (CH_4), contribuindo assim, para a amenização dos efeitos deletérios ao meio ambiente, e colaborando com a geração de potencial energético a partir de uma matriz em franco desenvolvimento (LANDTEC, 2006; BOURN, ROBINSON et al., 2018).

Este trabalho, apresenta o monitoramento ambiental da área de disposição final dos resíduos sólidos urbanos do município de Palmas (TO), além do estudo de viabilidade técnica do aproveitamento energético do biogás produzido pelo Aterro Sanitário, apresentando dados técnicos, e um estudo ambiental qualitativo da área estudada.

2 JUSTIFICATIVA

A crescente urbanização assistida no Brasil nos últimos anos, tem contribuído para o agravamento dos conflitos socioambientais referentes ao uso e ocupação dos bens naturais de forma inadequada (MARQUES, 2016). A produção exacerbada de RSU, resultantes do processo de consumo desenfreado, assim como, no estilo de criação de produtos com baixo ciclo de vida, tem contribuído negativamente para a criação de áreas de descarte inadequado dos RSU, depreciando ambientalmente a área de influência direta desse descarte, e desvalorizando financeiramente e paisagisticamente o local de descarte inadequado (LOPES, 2007).

A degradação física e biológica desses resíduos, além de proporcionarem a proliferação de odores, também apresentam como subproduto, emissões de gases atmosféricos, em especial o CH₄, correspondendo valores superiores a 60% de concentração nessa mistura gasosa (AGEITEC, 2018).

O aproveitamento ambiental e energético do biogás produzido em Aterros Sanitários, além de contribuir para a redução das emissões atmosféricas em Aterros de RSU, também contribui para a diminuição do aquecimento global, uma vez que o CH₄ presente na mistura gasosa é cerca de 21 vezes mais poluente que o CO₂ (IPCC, 2007).

O aproveitamento ambiental do biogás, produzido por Aterros Sanitários, além de contribuir para a diversificação da matriz energética brasileira, também reduz significativamente a dispersão de poluentes atmosféricos gerados pelos Aterros Sanitários, contribuindo para o franco desenvolvimento de um modelo energético sustentável, e possibilitando que um combustível antes descartado, sem nenhum aproveitamento energético, seja aproveitado para a geração de potencial elétrico (MACIEL, 2009).

Os estudos referentes ao aproveitamento de biogás provenientes de Aterros Sanitários são vistos como um desafio ainda a ser vencido no Brasil, uma vez que os projetos existentes, são desenvolvidos conforme tecnologias internacionais, onde, os parâmetros técnicos necessários para a sua execução não condizem com as características de projeto, operacionais e dos resíduos dispostos nos Aterros brasileiros, inviabilizando assim, a sua execução (MACIEL, 2009).

Assim, a pesquisa do monitoramento ambiental e estudo do aproveitamento energético do biogás gerado pelo Aterro Sanitário de Palmas - TO, mostra-se como uma importante alternativa de aproveitamento energético do biogás proveniente do Aterro Sanitário, como fonte de geração sustentável de energia elétrica, a partir de uma matriz energética em franco desenvolvimento.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é avaliar a qualidade ambiental da área de disposição final dos resíduos sólidos urbanos do município de Palmas – TO, além de avaliar a produção de biogás gerado no Aterro Sanitário visando o seu aproveitamento energético.

3.2 Objetivos Específicos

- Analisar a qualidade das águas subterrâneas da área de interferência direta do Aterro Sanitário;
- Analisar a qualidade das águas superficiais da área de interferência direta do Aterro Sanitário;
- Analisar a qualidade do percolado gerado pelas células do Aterro Sanitário antes e após o tratamento;
- Aferir teoricamente a quantidade de biogás produzido pelo Aterro Sanitário;
- Efetuar a classificação do Aterro Sanitário segundo o IQR.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentado o levantamento bibliográfico do monitoramento ambiental e disposição final dos resíduos sólidos urbanos em Aterros Sanitários. Além disso é abordada a técnica utilizada para o aproveitamento ambiental energético do biogás e os principais fatores que influenciam diretamente nesse processo.

4.1 Monitoramento ambiental em Aterros Sanitários

O monitoramento ambiental em Aterros Sanitários é de suma importância para o gerenciamento ambiental dos RSU locais, pois, além de detectar possíveis falhas na fase de projeto e implementação do Aterro, também informa ao gestor, possíveis falhas em sua operação (LOPES, 2007), estando em concordância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

A qualidade ambiental da área de instalação e interferência direta do maciço de resíduos, deve obedecer às legislações ambientais vigentes inerentes a temática. A qualidade das águas subterrâneas e superficiais deverão atender o padrão de qualidade exigida pela Portaria de potabilidade de água do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Em relação aos solos, os mesmos devem atender a Resolução CONAMA Nº 460/2013, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo, quanto à presença de substâncias químicas, e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas, em decorrência de atividades antrópicas, dentre elas, o Aterro Sanitário (BRASIL, 2013).

As emissões atmosféricas geradas por um Aterro Sanitário são compostas por uma grande diversidade de gases, dentre eles o metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), amônia (NH_3), hidrogênio (H_2), gás sulfídrico (H_2S), nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2), que podem ocorrer em grandes quantidades ou apenas em resíduo-traço (BRASIL, 2016).

O metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2), são os principais componentes do biogás de Aterro Sanitário, e sua pureza/concentração/qualidade dependem do estágio de decomposição da matéria orgânica ali confinada, e do tipo de resíduos ali disposto (IBAM, 2014).

A disposição final de resíduos sólidos em áreas inapropriadas, torna-se uma fonte de poluição e contaminação da área de influência direta do descarte, depreciando a qualidade ambiental dos recursos hídricos locais e contribuindo para a piora da qualidade ambiental local (LOPES, 2007; WANG, LI, et al., 2018).

O monitoramento ambiental de Aterros Sanitários, além de diminuir os riscos ambientais oriundos da atividade desempenhada, também contribui para o monitoramento dos sistemas de tratamento de efluentes e gases produzidos pelo Aterro, resguardando a qualidade ambiental da área de interferência direta do maciço, contribuindo para um gerenciamento integrado assertivo dos resíduos sólidos urbanos locais.

4.1.1 Monitoramento ambiental das águas subterrâneas e superficiais

O monitoramento ambiental das águas subterrâneas e superficiais, consistem no levantamento de amostras de água em pontos previamente selecionados, com o intuito de levantar dados acerca da qualidade de água num dado espaço de tempo estudado (DERÍSIO, 2012).

O levantamento de dados quantitativos e qualitativos da qualidade de água, permite ao gestor, uma avaliação da disponibilidade hídrica do recurso hídrico local, servindo como uma ferramenta de grande valia para a tomada de decisão em relação a oferta hídrica, bem como, do aproveitamento múltiplo e integrado do uso da água (EGLER, 2012).

A disponibilização dos recursos hídricos locais de forma igualitária, visa sempre a preservação da qualidade ambiental do recurso hídrico como um bem escasso/limitado e dotado de valor econômico, disponível a todo e qualquer cidadão brasileiro, mediante a outorgação de seu uso pelo órgão ambiental competente (BRASIL, 2009).

A qualidade ambiental das águas subterrâneas e superficiais podem ser alteradas de forma natural ou antrópica (XU, XUE et al., 2018). O uso indiscriminado dos recursos naturais, bem como, a exploração dos recursos ambientais de forma indiscriminada, influencia diretamente na qualidade ambiental dos recursos hídricos locais (LOPES, 2007; WANG, LI, et al., 2018; YA, LU, et al., 2018).

No Brasil, a qualidade ambiental das águas subterrâneas e superficiais potáveis, devem atender os padrões mínimos fixados pelo padrão de qualidade da água para abastecimento

público, recomendado pelo Ministério da Saúde, por meio de sua Portaria N° 2914/2011 (BRASIL, 2011).

Em se tratando da qualidade ambiental de águas superficiais e subterrâneas comuns, são regidas pelos padrões de qualidade de água estabelecidos pela Resolução N° 357/2005 (BRASIL, 2005) e N° 430/2011 (BRASIL, 2011). O monitoramento ambiental da água é realizado através da aferição de alguns parâmetros físico-químicos e biológicos, afim de caracterizar-se a qualidade e a contaminação existente nos cursos hídricos locais (LOPES, 2007).

São diversas as metodologias desenvolvidas para a obtenção de um Índice de Qualidade das Águas (IQA) num dado ponto de monitoramento. A Agência Nacional de Águas (ANA) sugere a utilização de um modelo obtido por meio de uma média ponderada de nove parâmetros, dentre eles: oxigênio dissolvido, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitratos, fosfato total, turbidez, temperatura da água, sólidos totais dissolvidos e coliformes termotolerantes, estes, de forma geral, indicadores de contaminação de águas por efluentes domésticos (BRASIL, 2009).

4.1.2 Monitoramento ambiental dos metais pesados e outras substâncias tóxicas

A principal fonte de contaminação do lençol freático e dos recursos hídricos superficiais é o lançamento inadequado dos líquidos e percolados lançados no solo de forma inadequada, sem o seu devido tratamento, e acondicionamento de forma assertiva e ambientalmente adequada. A principal problemática inerente a esses compostos é a sua alta taxa de assimilação por vegetais e animais, que estão em contato direto com esses compostos, provocando intoxicações moderadas, e os bioacumulando ao longo de seus níveis tróficos (CAMPOS, NUNES, et al., 2009).

O percolado gerado nos Aterros Sanitários é considerado um efluente com grande carga poluidora ao meio ambiente local, bem como, toda a área de influência direta de seu descarte sem o devido tratamento adequado (MARQUES, LOPES, et al., 2016). A sua composição química pode apresentar quantidades significativas de metais tóxicos como o alumínio (Al), níquel (Ni), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe), provenientes da degradação físico-química dos resíduos dispostos de maneira inadequada nos Aterros Sanitários (KORF, MELO, et al., 2008).

Por serem considerados substâncias essenciais para o crescimento de todo e qualquer tipo de organismos, nas concentrações adequadas, os metais pesados, tornarem-se um dos graves problemas ambientais decorrentes do mau uso e conservação dos recursos naturais, pondo em risco a dinâmica dos microrganismo necessários para a ciclagem natural dos compostos biodegradáveis, assim como, aos seres humanos, devido as características fisiológicas bioacumulativas de seu organismo (CELERE, OLIVEIRA, et al., 2007; LIMA e MERÇON, 2011; KHANDEGAR e SAROHA, 2013).

4.1.3 Monitoramento ambiental do solo

O monitoramento ambiental do solo, consiste na identificação dos estados de conservação, preservação, degradação e recuperação ambiental da área estudada, com a finalidade de impedir que uma possível contaminação no solo da região de interferência direta do maciço, seja dissipada para outros meios, bem como, atinjam os recursos hídricos locais (TEIXEIRA, LACERDA, et al., 2007).

No Brasil, a qualidade ambiental dos solos sob influência de Aterros Sanitários, deve atender os padrões mínimos de qualidade orientados pelas Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente N° 420/2009 (BRASIL, 2009b) e N° 460/2013 (BRASIL, 2013). O monitoramento ambiental da qualidade dos solos é de suma importância para ações imediatas de remediação de áreas degradadas, tendo em vista, a verificação da característica do passivo ambiental, proporcionando assim, medidas emergenciais efetivas de manutenção da qualidade ambiental da área de interferência direta do maciço de resíduos (TAVARES, 2008).

A utilização de índices de qualidade do solo, representam uma alternativa atraente para o monitoramento ambiental do solo brasileiro, descrevendo uma restrição de possíveis poluentes/contaminantes facilitando assim, a investigação de áreas degradadas (TAVARES, 2009). Porém, devido à grande diversidade de solos apresentados no Brasil, uma metodologia que englobe todos os tipos de solo, torna-se inviável do ponto de vista técnico e ambiental.

Assim, na falta de um padrão de qualidade dos solos, outros indicadores são utilizados para a medida indireta de contaminação dos solos, dentre eles, os indicadores biológicos da vegetação nativa da área de estudo, e até mesmo, a qualidade ambiental das águas do lençol freático sob a área estudada (TAVARES, 2009).

A Resolução Nº 420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, dispõe acerca dos critérios norteadores para se classificar uma área como degradada, e dá diretrizes para o gerenciamento ambiental assertivo dessas áreas (BRASIL, 2009a).

O Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas elaborado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), estabelece os valores orientadores para classificação de áreas contaminadas, por meio de valores de compostos químicos presentes no solo e na água subterrânea, e dispõe instrumentos para o gerenciamento assertivo de áreas contaminadas (CETESB, 2001b).

4.1.4 Monitoramento ambiental das emissões atmosféricas

O monitoramento ambiental das emissões atmosféricas em Aterros Sanitários é realizado com o intuito monitorar a geração e composição do biogás, gerado pela degradação anaeróbia da matéria orgânica, confinada no maciço de resíduos (CARREAS, 2013). Esse monitoramento é determinante para se aferir o grau de estabilização dos resíduos, e as fases de degradação do mesmo, podendo assim, obter o real potencial energético do biogás gerado pelo Aterro.

No Brasil, ainda não existem dados globais de geração de poluição atmosférica gerada por Aterros Sanitários. Porém, sabe-se que os principais componentes do biogás são o metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), compostos estes, altamente danosos a saúde pública local e principais colaboradores para a intensificação do efeito estufa, necessitando assim, de um pré-tratamento do gás, antes que o mesmo seja lançado na atmosfera (MACHADO, 2016).

A legislação brasileira, acerca da qualidade ambiental dos gases produzidos por Aterros Sanitários, orienta por meio das Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente Nº 9547/1997 (ABNT, 1997b) e Nº 13.412/1995 (ABNT, 1995), os padrões mínimos de qualidade que as emissões atmosféricas devem atingir. O aferimento desses padrões é realizado de forma cotidiana, e deve respeitar os limites de emissão, dispostos na legislação ambiental vigente.

O monitoramento ambiental das emissões atmosféricas de um Aterro Sanitário, deve ser realizado mesmo após o seu encerramento, por um período de no mínimo vinte anos, em concordância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a NBR Nº 13896/1997 (ABNT, 1997b).

Embora o Aterro não receba mais resíduos em suas células, a matéria orgânica ali confinada continua num processo de decomposição anaeróbia, gerando biogás e percolados, necessitando assim de um monitoramento ambiental rigoroso, a fim de evitar-se a contaminação ambiental da região de interferência direta do maciço de resíduos (LIMA, 2015).

O monitoramento e controle das emissões atmosféricas geradas pelo Aterro, além de contribuir para a qualidade ambiental de sua circunvizinhança, também possibilita, uma estimativa do aproveitamento energético desse biogás (FERNANDES, 2009).

4.1.5 Monitoramento ambiental dos líquidos e percolados

O monitoramento ambiental dos líquidos e percolados gerados pelo Aterro, tem como intuito analisar as características físico-químicas desses efluentes, além de obter-se informações sobre a geração e qualidade do efluente bruto e tratado, antes e após o tratamento proposto e instalado pelo Aterro (FERNANDES, 2009).

O monitoramento é determinante para obter informações da composição química dos compostos presentes no efluente. A depender de cada substância química presente no efluente, tem-se uma dimensão dos possíveis impactos ambientais gerados, por um possível descarte irregular e/ou vazamento desses efluentes nas infraestruturas de contenção do Aterro (RECESA, 2008).

A partir dos dados de monitoramento do efluente bruto e tratado, podemos conhecer as características do mesmo, escolhendo assim, a melhor tecnologia para o tratamento conforme suas características específicas, sem causar interferência ou inibição do processo de tratamento, quando o mesmo é encaminhado para estações de tratamento de esgoto sanitário convencionais (COSTA, 2015).

A matéria orgânica presente na massa de resíduos é degradada gradualmente por grupo de bactérias, em condições anaeróbias (CATAPRETA e SIMÕES, 2016). Como resultado dessa degradação, temos a geração de um efluente com grande quantidade de água, compostos nitrogenados e carga orgânica elevada, além de um biogás composto por substâncias com alto poder danoso ao meio ambiente local, e todos os meios receptores dessa carga poluidora (CHRISTENSEN e KJELDSSEN, 1989; KJELDSSEN, BARLAZ, et al., 2002).

O dimensionamento de um sistema para tratamento de líquidos e percolados, representa um processo complexo e de grande dificuldade em sua execução (LIMA, 2012). A variação da composição desse efluente nas diversas fases de vida do Aterro (início da operação, operação normal e encerramento do Aterro), influencia diretamente no tratamento a ser adotado, devido a variação da vazão do efluente, concentração de poluentes e diversidade química dos compostos presentes no lixiviado (COSTA, 2015).

A combinação de processos físico-químicos com processos biológicos, tem-se demonstrado melhores eficiências na diminuição da carga orgânica presente no efluente, bem como, na diminuição da concentração dos compostos tóxicos presentes nos lixiviados tratados (KJELDSEN, BARLAZ, et al., 2002).

4.2 Biogás de Aterros Sanitários

O biogás gerado em Aterros Sanitários é proveniente da degradação biológica da matéria orgânica, confinada no interior do maciço de resíduos (PECORA, FIGUEIREDO e VELAZQUES, 2008). A composição do biogás é relativa, a depender da qualidade e quantidade dos resíduos ali dispostos, como por exemplo, a concentração de matéria orgânica e concentração de resíduos não degradáveis, como plástico e materiais ferrosos, dentre outros (LANDTEC, 2006).

A concentração química do biogás é basicamente composta por gases como o metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), sulfeto de hidrogênio (H_2S) e gás amônio (NH_3), em concentrações variáveis, a depender do tempo de vida do Aterro, bem como, no estágio de degradação biológica da matéria orgânica ali confinada (BRAGA, 2002).

A captação desses gases é realizada pelo sistema de captação de gases instalado na fase inicial de operação do Aterro, onde, por meio das características físico-químicas de cada componente, são encaminhados para o seu caminho preferencial de escoamento e posterior tratamento (BRITO FILHO, 2005).

Gases com as propriedades físico-químicas semelhantes à do dióxido de carbono (CO_2), possuem alta polaridade, sendo altamente solúveis em água, resultando assim, na sua dispersão no sistema de circulação dos líquidos e percolados do Aterro, sendo encaminhados para o sistema de tratamento de percolados (ANDREOLI, FERREIRA, et al., 2003).

Já os demais gases, com propriedades similares a do metano (CH_4), com característica de apolaridade e densidade menor que a do ar, tendem-se a dissipar-se por meio de difusão, processo esse que consiste na dispersão molecular de uma região mais concentrada, para regiões onde a concentração de gases é menor, sendo encaminhadas para o sistema de tratamento de gases instalado no Aterro (ANDREOLI, FERREIRA, et al., 2003).

A distribuição exata do percentual dos gases presentes na mistura gasosa do biogás, gerado em Aterros Sanitários é bastante heterogênea, incluindo gases como o metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), amônia (NH_3), hidrogênio (H_2), gás sulfídrico (H_2S), nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2) (BORBA, 2006). O percentual de distribuição dos principais componentes desses gases na fase metanogênica é descrita por Gandolla, Acaia e Fischer (1997) na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Composição típica do biogás de Aterros Sanitários de resíduos sólidos urbanos.

Gás	Composição típica	Massa específica (kg/m^3)	Poder calorífico (kJ/m^3)	Limite de explosividade	Solubilidade em água (g/l)	Propriedades gerais
CH_4	45 - 60%	0,717	35.600	5 - 15%	0,0645	inodoro, incolor, não tóxico, inflamável
CO_2	35 - 50%	1,977			1,688	inodoro, incolor, asfíxiante
N_2	0 - 10%	1,25			0,019	inodoro e incolor
O_2	0 - 4%	1,429			0,043	inodoro e incolor
CO	< 0,1%	1,25	12.640	12,5 - 74%	0,028	inodoro, incolor, tóxico, inflamável
H_2	< 0,1%	0,09	10.760	4 - 74%	0,001	inodoro, incolor, não tóxico, inflamável
H_2S	<0,07%	1,539	N.I	4,3 - 45,5%	3,846	incolor, muito tóxico

Fonte: Gandolla, Acaia e Fischer (1997).

Obs: Massa específica do ar atmosférico = 1,29 kg/m^3 ; N.I = Não Informado.

O gás metano, representa uma totalidade de 45 a 60% do volume do biogás, representando uma ótima alternativa do aproveitamento de seu poder calorífico, podendo ser utilizado na geração de energia térmica a partir de sua combustão, e utilização em motores de combustão associados a geradores elétricos, gerando eletricidade, e dando um aproveitamento ambiental positivo, a um dos principais passivos ambientais gerados pela instalação de um Aterro Sanitário (ALVES, 2000).

4.2.1 Geração do biogás em Aterros Sanitários

A decomposição da matéria orgânica mais complexa no interior das células do maciço de resíduos é realizada de forma intervalada, onde, por meio de etapas pré-definidas, a matéria orgânica passa de um estágio mais complexada, para estruturas de assimilação facilitada (CARREAS, 2013).

A digestão anaeróbia da matéria orgânica, necessita de alguns fatores ambientais apropriados para a sua fermentação adequada, dentre esses fatores:

- **Condição anóxica:** proporcionando as bactérias metanogênicas um ambiente propício para o seu desenvolvimento, reprodução e metabolismo ideal (COSTA, 2006);
- **Temperatura ideal:** proporcionando aos microrganismos um ambiente ótimo para o seu desenvolvimento, devido a sua alta sensibilidade a alterações bruscas de temperatura (COSTA, 2006);
- **Controle da alcalinidade e do pH:** que são essenciais para o controle da digestão das bactérias, e se não aferido corretamente, pode acarretar no tamponamento do meio de cultura, fazendo com que todas as bactérias presentes no meio sejam neutralizadas (ANDREOLI, FERREIRA, et al., 2003).
- **Presença de nutrientes básicos:** necessários para um desenvolvimento microbiológico adequado como carbono, nitrogênio e sais orgânicos (COSTA, 2006);
- **Teor de umidade adequado:** pois, tanto o excesso como a falta de umidade prejudicam no desempenho da fermentação, variando de acordo com o substrato contido no interior da célula do maciço, em torno de 90% do peso total da massa de resíduos (ANDREOLI, FERREIRA, et al., 2003);
- **Falta obrigatória de substâncias tóxicas e inibidoras da fermentação:** como os compostos clorados, metais pesados e sais diversos, mesmo que em pequenas concentrações, interferem diretamente no processo fermentativo (ANDREOLI, FERREIRA, et al., 2003).

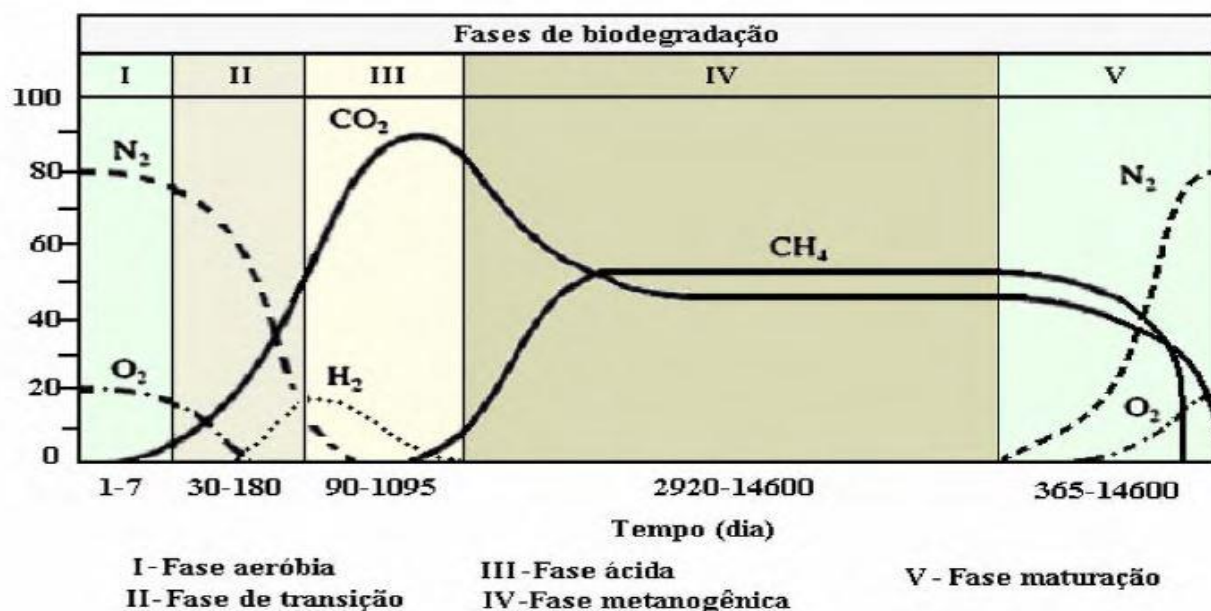
A digestão anaeróbia é realizada por um grupo de microrganismos de forma sequencial, fazendo com que o substrato seja transformado de uma forma mais complexa, nas formas mais simples de assimilação celular (CHERNICHARO, 2007).

4.2.1.1 Etapas da geração de biogás

A geração de biogás em Aterros Sanitários, pode ser descrita em cinco fases, sendo a primeira o ajuste inicial de todo o processo; a segunda, consistindo em uma fase de transição; a terceira, compreendendo uma fase ácida de reação; a quarta, a fase metanogênica; e por fim, a quinta e última fase, compreendendo a fase de maturação ou estabilização da matéria orgânica confinada no interior do maciço de resíduos (POHLAND e HARPER, 1985).

As fases de geração de biogás em Aterros Sanitários, podem ser demonstradas resumidamente de acordo com a Figura 4.2, seguidas da sua explicitação fase a fase (TCHOBANOGLOUS, THEISEN e VIGIL, 1993):

Figura 4.2: Fases da biodegradação anaeróbia da matéria orgânica em Aterros Sanitários, com seus subprodutos gerados.



Fonte: Pohland e Harper (1985).

A primeira fase, também denominada de ajuste inicial, consiste na deposição da matéria orgânica carbonácea presente no resíduo sólido urbano, no momento de descarte no Aterro (POHLAND e HARPER, 1985).

Essa fração biodegradável da matéria orgânica, inicia o seu processo de degradação de forma aeróbia, devido à grande quantidade de oxigênio incorporada na massa de resíduos no momento da disposição, e compactação da massa de resíduos na célula do Aterro (BORBA, 2006).

Grande parte dos microrganismos responsáveis pela fase inicial da estabilização da matéria orgânica, são obtidos por meio da cobertura de solos, proveniente da compactação diária dos resíduos sólidos urbanos, ou até mesmo de descartes de lodos de estações de tratamento de água e esgoto (SOUTO, 2009).

A duração da fase de degradação aeróbia da matéria orgânica disponível, dá-se nos primeiros dias após o recobrimento dos resíduos, e vai-se extinguindo de acordo com a falta de oxigênio no meio, migrando-se para a fase anaeróbia de degradação (CHERNICHARO, 2007).

A segunda fase, também denominada de fase de transição, consiste no decaimento dos níveis de oxigênio no maciço de resíduo, e o início da fase de degradação anaeróbia da matéria orgânica (POHLAND & HARPER, 1985). Nessa fase, há a grande presença de gás nitrogênio e sulfeto de hidrogênio, resultantes da redução de sulfatos e nitratos pelas reações de conversão biológica da matéria orgânica em condições anóxicas (CHERNICHARO, 2007).

Com o início da fase anaeróbia, pode ser verificado a conversão da matéria orgânica presente no maciço de resíduos, em metano e dióxido de carbono, estes, resultantes da conversão de ácidos orgânicos e outros produtos intermediários na fase inicial da degradação anaeróbia da matéria orgânica (CHERNICHARO, 2007).

Esta fase é responsável pelo decaimento abrupto da faixa de pH do percolado, isso, devido à grande presença de ácidos orgânicos e dióxido de carbono confinados no interior do maciço de resíduos (BORBA, 2006).

A terceira fase, também denominada de fase ácida, consiste na produção de grandes quantidades de ácidos orgânicos e pequenas quantidades de hidrogênio gasoso (POHLAND e HARPER, 1985). A acidogênese, parte da conversão dos subprodutos gerados na fase de transição, em compostos de maior facilidade de assimilação pelos microrganismos das etapas posteriores, como os ácidos acético, láctico e butírico (CHERNICHARO, 2007).

A grande presença de ácidos nessa fase, faz com que a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do percolado e sua condutividade elétrica seja altamente elevados, contribuindo assim,

para o grande decaimento do pH e dissolução expressiva de compostos inorgânicos, como por exemplo, os metais pesados (BORBA, 2006).

A quarta fase, também denominada de fase metanogênicas, consiste na conversão dos ácidos acético e gás hidrogênio em metano e dióxido de carbono, por meio de microrganismos estritamente anaeróbios (POHLAND e HARPER, 1985).

A formação de metano e dos ácidos, ocorrem de forma simultânea, evitando assim, que haja o acúmulo de ácidos no meio, e impedindo que haja o retardo das reações devido ao decaimento abrupto do pH, embora que a taxa de produção de ácidos seja retardada consideravelmente, devido a presença de dióxido de carbono no meio (BORBA, 2006).

Devido a diminuição da presença de ácidos no meio, nessa fase de degradação da matéria orgânica, o pH sofre um ligeiro aumento, reduzindo assim, as concentrações de DBO, DQO e condutividade elétrica no meio, e no percolado gerado nessa fase (CHERNICHARO, 2001).

O aumento do pH, corrobora para a diminuição de compostos inorgânicos dissolvidos no percolado, tendo assim, como resultado, a diminuição da concentração de metais pesados no percolado nesta fase em específico (BRITO FILHO, 2005).

A fase metanogênica, necessita de um tempo hábil entre as etapas anteriores para a geração de seus substratos, levando cerca de alguns meses para a ignição do processo de produção de metano e dióxido de carbono (POHLAND e HARPER, 1985).

O tempo de produção de biogás é muito depende das condições ambientais externas ao maciço de resíduos, bem como, do crescimento adequado das cepas metanogênicas, podendo durar de alguns meses a décadas de produção de biogás (BRITO FILHO, 2005).

A Tabela 4.2, apresenta o intervalo de duração da estabilização da matéria orgânica no interior do maciço de resíduos, bem como, o período de geração de biogás no Aterro (MACIEL, 2003).

Tabela 4.2: Duração das fases de degradação da matéria orgânica em Aterros Sanitários.

FASES	INTERVALO DE DURAÇÃO
I	Aproximadamente 1 semana
II	1 mês a 6 meses
III	3 meses a 3 anos
IV	8 anos a 40 anos
V	1 ano a mais de 40 anos

Fonte: Maciel (2003).

A quinta e última fase, também denominada de fase de maturação, consiste na estabilização parcial e/ou total da matéria orgânica presente no interior do maciço de resíduos (POHLAND e HARPER, 1985).

Após grande parte da matéria orgânica carbonácea disponível ter sido convertida em subprodutos energéticos, como o metano e dióxido de carbono, toda umidade contida nas zonas mais superficiais do maciço de resíduos continua migrando para parte inferior do maciço reagindo com o material que até então já havia sido degradado (BORBA, 2006).

A geração de biogás nessa fase, torna-se ínfima, devido à falta de micronutrientes, responsáveis para a manutenção dos microrganismos responsáveis pelo processo de estabilização biológica da matéria orgânica, contida no maciço de resíduos, consumida nos processos anteriores de geração do biogás (BORBA, 2006).

A presença de gases tóxicos como o monóxido de carbono e alguns substratos, diminuem ou até mesmo impedem o metabolismo microbiano, tornando as reações de acidificação e metanogênese mais lentas (CHERNICHARO, 2007).

A fase de encerramento e uso futuro da área de disposição final de resíduos sólidos urbanos, torna-se essencial para um bom funcionamento das cinco etapas de geração do biogás, e para uma boa qualidade e subsequente aproveitamento do metano produzido pelos Aterros Sanitários (POHLAND e HARPER, 1985).

A adoção de medidas inadequadas para o encerramento do maciço de resíduos, contribui diretamente para a penetração de pequenas quantidades de compostos nitrogenados e oxigênio via infiltração, do sistema de drenagem de águas superficiais, incidindo negativamente na produção de metano, pelas bactérias metanogênicas e na fase de acidificação da matéria orgânica (CHRISTENSEN e KJELDSEN, 1989; KJELDSEN, BARLAZ, et al., 2002).

A duração de cada fase do processo de produção do biogás, está ligada intimamente na distribuição e qualidade da matéria orgânica presente no maciço de resíduos (SILVA, 2012), onde, a depender de fatores biológicos, como a concentração de nutrientes disponíveis aos microrganismos, teor de umidade da massa de resíduos e fatores ambientais externos, como temperatura e pressão exercida diretamente na massa de resíduos, podem acelerar ou retardar o processo de produção de metano e estabilização da matéria orgânica (BORBA, 2006).

Não se pode afirmar com exatidão, o tempo máximo de duração das cinco fases de produção de metano e estabilização da matéria orgânica carbonácea, presente no maciço de resíduos (MACIEL, 2009).

A velocidade da degradação da matéria orgânica é aferida de acordo com a produção do biogás, tendo seu ápice nos dois primeiros anos iniciais da operação, e sua vida útil se dá por volta de 30 anos após o encerramento da disposição dos resíduos sólidos no Aterro, podendo ainda detectar-se a produção ínfima de biogás, após 40 anos de seu encerramento (SOUZA, 1984; BORBA, 2006; SILVA, 2012).

As fases de estabilização da matéria orgânica não são bem definidas, uma vez que a disposição da matéria orgânica no maciço de resíduos não é realizada de forma pontual e concentrada, sendo disposta no maciço de resíduos no decorrer de todo o período de vida útil do Aterro (BRITO FILHO, 2005).

Assim, enquanto a zona inferior do maciço de resíduos está passando pela fase de degradação anaeróbia, por serem resíduos dispostos no início da operação do Aterro, os resíduos recém dispostos, estão passando por fases aeróbias, devido a incorporação do ar atmosférico no momento de disposição e compactação dos resíduos (SILVA, 2012).

A produção de metano nos períodos iniciais da geração do biogás, varia em torno de 40% logo após o início da estabilização da matéria orgânica no interior do maciço de resíduos (BRITO FILHO, 2005).

No período médio de produção, que varia de 1 ano e meio a 5 anos, a produção chega a seu ápice, variando de 60 a 65% de acordo com o grau de estabilização da matéria orgânica carbonácea no interior do maciço de resíduos (BORBA, 2006).

Estudos recentes, revelam que a geração de biogás e a produção de metano em um Aterro encerrado, pode chegar a 40 anos após o término das suas descargas diárias de matéria

orgânica, revelando assim, a sua possibilidade de reaproveitamento energético por um longo período de tempo (FERNANDES, 2009).

4.2.1.2 Estimativa da geração teórica de biogás

A produção de biogás no interior do maciço de resíduos, ocorre em decorrência do processo natural de degradação/estabilização da matéria orgânica, presente na massa de resíduos sólidos urbanos ali disposta (MACIEL, 2009).

A estimativa teórica da geração do biogás, pode ser obtida através da utilização de modelos matemáticos, baseados em fatores como a composição gravimétrica da massa de resíduos disposta no Aterro; porcentagem de matéria orgânica degradável na massa de resíduos; presença de oxigênio no interior do maciço e na cinética da degradação/estabilização da matéria orgânica (MACIEL, 2009).

Outro método para a aferição da produção de biogás, provenientes de Aterros Sanitários é a investigação técnica por meio de análises laboratoriais, onde, por meio de equipamentos específicos para tal finalidade, como lisímetros e digestores, podem-se estimar laboratorialmente a produção de biogás com base na massa de resíduos, coletada no Aterro.

A produção de biogás em laboratório, extrapola os resultados apresentados em condições reais, devido ao alto controle das reações de estabilização da matéria orgânica, contida na célula experimental, extrapolando as condições ambientais reais na célula em campo.

Dentre os dois métodos utilizados para a elaboração dessa estimativa de produção de biogás em Aterros Sanitários, o método da estimativa teórica é o mais adotado devido a praticidade de manipulação, como na adoção da técnica em diversas localidades, independente de condições climáticas, uma vez, que o segundo método é uma técnica de difícil manipulação e sofre bastante contaminação laboratorial, devido as perdas na captação, e fugas pelos equipamentos de aferição da produção do biogás (MACIEL e JUCÁ, 2000).

Para a adoção de qualquer um dos modelos é fundamental que se tenha informações precisas sobre a caracterização física e química dos resíduos sólidos urbanos dispostas no Aterro Sanitário. Assim, com a utilização de dados precisos, obtém-se a estimativa do potencial de geração teórica do biogás, calculando-se de forma assertiva, conforme cada caso específico.

Porém, quando não há informações precisas sobre a caracterização dos resíduos, estima-se essa produção de maneira indireta, pela composição gravimétrica dos resíduos, não representando totalmente a realidade local de um dado Aterro em estudo (FERNANDES, 2009).

São diversos os tipos de modelos disponíveis atualmente para a estimativa da geração teórica de biogás em Aterros Sanitários, todos, utilizados para a obtenção de uma curva de geração de biogás, em um dado espaço de tempo amostral (FERNANDES, 2009).

A variação entre a taxa de produção de um modelo para o outro, pode ocorrer devido a metodologia específica empregada em cada um, mas, todos os dados de entrada mais relevantes sobre os resíduos sólidos dispostos nos Aterros são comuns em ambos os modelos, como a taxa de geração dos gases, e o acumulado total de produção, sendo fixa a porcentagem de decomposição da matéria orgânica disponível em cada modelo.

Outros fatores que influenciam diretamente na geração do biogás, também poderão ser adotados como parâmetros de entrada, variando conforme o modelo escolhido para estimativa, como nas características intrínsecas ao local de instalação do Aterro, como temperatura externa, umidade relativa do ar e incidência solar, fatores esses, que interferem diretamente na geração do biogás na área estudada (AUGENSTEIN e PACEY, 1991; XYDIS, NANAKI e KORONEOS, 2013; LIMA, SANTOS, et al., 2018).

A quantidade de ar incorporada na massa de resíduos antes de sua disposição final, também pode interferir diretamente no processo de produção do biogás, intervindo no processo de decomposição anaeróbia da matéria orgânica ali confinada, e a posterior inibição da fase metanogênica dentro do maciço de resíduos, fase esta, responsável pela produção do metano, principal componente do biogás proveniente de Aterros Sanitários.

A aplicação dos modelos matemáticos para a estimativa de geração de biogás em Aterros Sanitários, além de demonstrarem ser uma ferramenta extremamente útil para avaliar o potencial econômico da geração de biogás em um dado local, também demonstra uma economia expressiva em relação aos demais métodos, devido a sua aplicabilidade estrita em ambientes computacionais.

Os resultados apresentados por esses modelos, além de expressarem uma avaliação do potencial de emissão de gases pelos Aterros Sanitários, também demonstram a efetividade de

instalação de sistemas de aproveitamento energético de biogás de Aterros Sanitários, avaliando a sua produtividade, e viabilidade de execução desses sistemas.

4.2.1.3 Modelo cinético de geração de biogás (Scholl-Canyon)

O Modelo de estimativa de geração de biogás produzido por Aterros Sanitários de Scholl-Canyon é o mais aceito atualmente, devido a sua premissa, de que há uma fração sempre constante de matéria orgânica no interior do maciço de resíduos, prontamente a ser biodegradada em um dado espaço de tempo.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), adota o presente modelo para suas projeções anuais, devido a sua alta adaptabilidade nas condições específicas de cada Aterro Sanitário em estudo, bem como, na possibilidade de estimar-se a geração de metano durante toda vida útil do Aterro.

O modelo de Scholl-Canyon, parte da equação do programa de Geração de Gases provenientes de Aterros Sanitários da USEPA. O modelo mais utilizado para estimar a geração de gases em Aterros é o LANDGEM, estimando a geração de gases a partir da degradação da matéria orgânica confinada no interior do maciço de resíduos, porém, não considerando o seu lançamento para a atmosfera.

Em todo o processo de geração do biogás, o mesmo pode ser perdido, devido a rachaduras e fraturas nos equipamentos de coleta e distribuição dos gases, mas, nenhum modelo atual, considera esta perda para a atmosfera.

O modelo LANDGEM, além de medir os valores de geração de biogás mais próximos aos verificados na medição direta da vazão de gases nos sistemas de coleta do Aterro, também é o que mais se adequa as condições ambientais das áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos se, comparados com os modelos de bancada.

4.2.1.3.1 Equação da produção de metano em cada ano estudado

O modelo LANDGEM, estabelece a seguinte Equação 4.1 para a geração de metano no Aterro em cada ano amostral estudado:

$$Q_{CH_4}^i = (PopUrb \times Taxa \text{ RSU} \times RSDf \times L_0 - R) \times (1 - OX) \quad (\text{Equação 4.1})$$

Onde:

Q_{CH_4} = quantidade de metano emitido [CH_4 /ano];

i = ano amostral estudado;

$PopUrb$ = número de habitantes residentes na área urbana [habitantes];

$Taxa\ RSU$ = resíduos sólidos urbanos gerados [ton/hab.ano];

$RSDf$ = fração dos resíduos que é coletada e depositada no Aterro Sanitário [%];

L_0 = potencial de geração de metano dos resíduos [ton. CH_4 /ton.rsu];

R = metano que é captado e aproveitado [ton. CH_4 /ano];

OX = fator de oxidação do metano na superfície do Aterro Sanitário.

O programa LANDGEM, estabelece a criação de uma equação de primeira ordem, para a estimativa de produção de biogás de Aterros Sanitários, estabelecendo valores para os parâmetros referentes a taxa de produção de metano, assim como, o potencial de geração de metano a partir das características dos resíduos ali dispostos. Porém, cada parâmetro de entrada deve ser adotado de acordo com as características específicas de cada Aterro em estudo, obtendo-se assim, uma simulação computacional segura e assertiva, das condições ambientais locais de cada Aterro Sanitário.

4.2.1.3.2 Equação do potencial de geração de metano – L_0

O fator de geração de metano L_0 , depende diretamente da composição gravimétrica dos resíduos dispostos no Aterro, assim como, das condições internas do maciço, estando fixado segundo a literatura, numa faixa que varia de 6,2 a 270 m^3 de geração de metano, por tonelada de resíduos, para Aterros localizados na América (USEPA, 1991).

O valor adotado a fim da projeção da estimativa da geração do metano, em Aterros Sanitários é de $L_0 = 170\ m^3$ de metano para cada tonelada de resíduos disposta no Aterro Sanitário estudado (USEPA, 2005). O cálculo da estimativa do potencial de geração de metano em Aterros Sanitários, pode ser obtido por meio da metodologia empregada pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climática (IPCC, 2006), descrita pela Equação 4.2.

$$L_0 = FCM \times COD \times CODf \times F \times (4/3) \quad (\text{Equação 4.2})$$

Onde:

L_0 = potencial da geração de metano [ton.CH₄/ton.RSU];

FCM = fator de correção de metano;

COD = carbono orgânico degradável [ton.C/ton.RSU];

$CODf$ - fração de COD dissociada;

F = fração do metano presente no biogás em volume [%];

$(4/3)$ = fator de conversão do carbono em metano [ton.CH₄/ton.C].

O fator de correção de metano (FCM) é tabelado pelo IPCC. Este fator, demonstra a condição de disposição final dos resíduos sólidos dispostos no Aterro, onde, quanto mais adequados os resíduos forem dispostos, maiores serão as concentrações de metano na mistura gasosa de biogás, sendo representados por valores maiores de FCM , conforme demonstrado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Fator de correção de metano – FCM .

TIPO DE LOCAL	FCM - Fator de correção de metano
Controlado- anaeróbio	1,0
Controlado - semi-aeróbio	0,5
Inadequado – profundo (> 5m de resíduo)	0,8
Inadequado – raso (< 5m de resíduo)	0,4

Fonte: IPCC (2006).

A fração de carbono orgânico degradável (COD), presente na massa de resíduos é dependente da quantidade de carbono presente em cada fração de resíduo (IPCC, 2006). Cada resíduo, possui uma fração fixa de COD descrita pelo IPCC, conforme demonstrado na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Teor de carbono orgânico – COD em cada componente do RSU.

COMPONENTE	COD (% em resíduo úmido)
A – papel e papelão	40
B – resíduos de parques e jardins	20
C – restos de alimentos	15
D - tecidos	24
E – madeira (exceto lignina)	43

Fonte: IPCC (2006).

O cálculo da Fração de Carbono Orgânico degradável na massa de resíduos sólidos urbanos é obtido pela seguinte Equação, utilizando como base, os valores disponibilizados para cada resíduo, segundo o IPCC, e conforme demonstrado pela Equação 4.3 a seguir:

$$COD = (0,4 \times A) + (0,2 \times B) + (0,15 \times C) + (0,24 \times D) + (0,43 \times E) \quad (\text{Equação 4.3})$$

Onde:

A: fração de papel e papelão no resíduo;

B: fração de resíduos de parques e jardins no resíduo;

C: fração de restos de alimentos no resíduo;

D: fração de tecidos no resíduo;

E: fração de madeira no resíduo.

O valor sugerido pelo IPCC para a fração de carbono orgânico (COD), que decompõe em condições anaeróbias é de 0.5, representando assim, o valor adotado para o COD_f (IPCC, 2006).

O cálculo da fração do carbono degradável dissociada (COD_f) é realizado por meio da fração da matéria orgânica que está disponível para a degradação bioquímica no interior do maciço de resíduos, variando, de acordo com a temperatura na zona anaeróbia do maciço, conforme demonstrado pela Equação 4.4.

$$COD_f = 0,014T + 0,28 \quad (\text{Equação 4.4})$$

Onde:

T: temperatura na zona anaeróbia do maciço de resíduos.

Com o passar do tempo, a disponibilização de carbono orgânico na massa de resíduos começa a diminuir em relação a sua massa inicial, podendo ser observado diretamente quando a vazão de biogás produzido pelo Aterro Sanitário começa a sofrer reduções frequentes. A constante de decaimento, demonstra a quantidade de tempo de vida útil que terá a produção de biogás no maciço de resíduos, bem como, a sua curva de decaimento (ENSINAS, 2003).

Fatores como a umidade, composição gravimétrica do resíduo, potencial de oxi-redução, alcalinidade, pH e tamanho das partículas, interferem diretamente na constante de decaimento de geração de biogás em Aterros Sanitários (GARG, G. e JOSHI, 2006).

A taxa de geração de metano (*k*), representa a facilidade do escoamento do metano gerado no interior do maciço de resíduos em ser dissipado/escoado no sistema de coleta e transporte de gases instalado no Aterro. O parâmetro *k* está intimamente ligado a umidade presente no resíduo, assim como, na precipitação anual na área do Aterro; quantidade e qualidade dos resíduos ali dispostos; disponibilidade de nutrientes; acidez e temperatura na zona ativa da estabilização da matéria orgânica ali confinada (USEPA, 2005).

Segundo a USEPA (2005), os valores adotados para o parâmetro *k* variam de 0,02 a 0,07 a depender da precipitação anual na área de disposição final dos resíduos sólidos urbanos (USEPA, 2005). De acordo com a USEPA (2005), quando a precipitação anual na área do Aterro é superior a 645 mm, o valor adotado de *k* é de 0,05.

4.2.2 Aproveitamento ambiental do biogás

O aproveitamento ambiental e energético do biogás gerado em Aterros Sanitários, segue as mesmas aplicações comuns desenvolvidas para o gás natural, sempre, levando em consideração o seu adequado tratamento preliminar, e métodos de captação e distribuição, até a fonte geradora de energia (ZANETTE, 2009). O tratamento preliminar do biogás está condicionado a seus usos futuros, necessitando de maiores cuidados quando a sua aplicação está distante da fonte geradora, necessitando de transporte via tubulações, para ser utilizado como combustível em fontes estacionárias.

Dentre as mais variadas formas de aproveitamento energético do biogás gerado em Aterros Sanitários, destaca-se a sua utilização como combustível para caldeiras de aquecimento

térmico e a sua utilização como combustível para geração de energia elétrica via motogeradores. No Brasil, as aplicações do biogás ligadas a utilização como gás natural para o abastecimento de veículos automotores, têm chamado bastante atenção do ramo automobilístico, porém, necessita de estudos mais aprofundados sobre a sua composição química, e os efeitos decorrentes da sua utilização nas partes internas dos motores a combustão.

Atualmente, no Brasil, as principais utilizações do biogás captado nos Aterros Sanitários é a sua queima direta em flares apenas convertendo o metano (CH_4), presente no biogás em dióxido de carbono (CO_2), composto esse, vinte uma vez menos poluente que o metano (BRAGA, 2002). Já os Aterros Sanitários que possuem um sistema de captação e tratamento de biogás, a sua utilização é estreitamente voltada apenas para os usos internos dentro da área do Aterro, como a iluminação pública das áreas de acesso, e o abastecimento de pequenas centrais elétricas instaladas dentro dos Aterros Sanitários em questão (ZANETTE, 2009).

O biogás gerado em Aterros Sanitários é um combustível adequado para a geração de energia elétrica, por meio de motogeradores de combustão interna, ou turbinas movidas a gás, devido a sua estabilidade calorífica, e a sua facilidade de operação (LANTZ, 2006; LIMA, SANTOS et al., 2018). Diversas tecnologias têm surgido a fim de comprovar a eficácia do aproveitamento do biogás para a geração de energia elétrica, via sistemas de combustão interna, tecnologia essa, já bem estabelecida e extremamente confiável para a geração de eletricidade (ZANETTE, 2009; BARROS, FILHO e SILVA, 2014; SANTOS, GONÇALVES, et al., 2018).

Em países desenvolvidos, o biogás também é utilizado como gás natural veicular (GNV), necessitando de um pré-tratamento, para atingir os parâmetros necessários do gás natural, utilizado nos veículos adaptados para esse fim. Para essa utilização, o biogás precisa ser purificado, aumentando assim o seu poder calorífico e ficando livre de substâncias como o vapor de água, amônia, compostos de enxofre e os siloxanos, evitando assim, substâncias tóxicas que causam danos mecânicos nas paredes do motor a combustão, bem como, nas tubulações de distribuição do biogás.

Em síntese, a purificação do biogás, significa a remoção de todos os compostos que não são aproveitados para a combustão, como dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfídrico (H_2S), amônia (NH_3), siloxanos e vapor de água (H_2O), resultando apenas no gás livre de impurezas e com uma concentração de metano (CH_4) superior a 95% de pureza, ideal para o uso como gás natural veicular e distribuível e injetável na rede de gás natural convencional.

São inúmeras as vantagens ligadas a distribuição do biogás na rede de gás natural, dentre elas, a disponibilização do biogás em áreas distantes do local de produção, permitindo o alcance do biogás tratado, a novos consumidores finais, aumentando o seu aproveitamento ambiental, mesmo que, em locais com difícil acesso (PROBIOGÁS, 2016).

A injeção do biogás na rede de gás natural, também proporciona a seguridade de um fornecimento de gás mesmo que em condições extremas, como a falta de abastecimento de gás natural pelas refinarias, aumentando em contrapartida, a seguridade do abastecimento público local.

São inúmeras as especificações que o biogás deve atender para ser enquadrado como gás natural, e posteriormente, ser injetado na rede de distribuição, necessitando de um tratamento prévio adequado, além de infraestruturas técnicas e mão de obra especializada para o monitoramento ambiental necessário nas centrais de tratamento de biogás, atendendo assim, as legislações vigentes e tornando-se um grande atrativo para os principais consumidores de gás natural.

No Brasil, não existe legislação específica a respeito do padrão de qualidade necessário para o biogás produzido por Aterros Sanitários. Porém, a NBR 14903/2014 (ABNT, 2014), estabelece o método para a determinação da composição química de gás natural e de misturas gasosas similares, dentre elas, o biogás proveniente de Aterros Sanitários.

4.2.3 Pré-tratamento do biogás

O pré-tratamento do biogás, oriundo de Aterros Sanitários, está estritamente ligado aos usos futuros inerentes ao seu aproveitamento energético. Usos mais nobres, como a coprodução e aproveitamento do biogás como combustível de motores a combustão interna, e turbinas a gás, necessitam de um gás com alto poder de purificação e graus elevados de poder calorífico (RYCKEBOSCH, 2011).

Outro grande problema vinculado ao biogás é a grande presença de impurezas e materiais particulados, que são responsáveis pela deterioração das estruturas nos componentes dos sistemas energéticos, causando danos e prejuízos financeiros quando o sistema de purificação não opera com uma eficiência adequada (GOULDING, 2013).

Além da presença de impurezas físicas, como materiais particulados e poeira em suspensão, outros gases tóxicos também podem estar presentes na mistura gasosa, como por exemplo, o gás sulfídrico (H_2S), composto este, altamente corrosivo e danoso as tubulações de ferro e as peças de metal dos conjuntos geradores de energia associados ao sistema, diminuindo assim, a sua vida útil e danificando todo o sistema (RYCKEBOSCH, 2011).

O sistema de tratamento de biogás, mais conhecido como sistema de purificação, pode ocorrer em diferentes etapas, dentre elas:

- **Remoção da umidade:** grande parte dos sistemas de tratamento/processamento do biogás primário já possuem uma etapa de desumidificação e filtração do gás, com o intuito de remover grande parte das molecular de água presentes na mistura gasosa, bem como, de qualquer partícula solta presente no biogás, remoção essa, essencial para qualquer tipo de aproveitamento ambiental do biogás.

A remoção da umidade presente no biogás, pode ser realizada de duas formas, a remoção física de água livre, ou a condensação do biogás através de um separador de umidade. O separador de umidade, consiste num equipamento que reduz a velocidade do biogás dentro dos condutos de distribuição, de modo que, a força gravitacional exercida sobre o gás, proporcione a sua deposição de forma natural (RYCKEBOSCH, 2011). Outras formas de remoção da umidade do biogás também podem ser utilizadas, como por exemplo, a adoção de compostos de glicóis, gel e sílica, com o intuito de remover a umidade presente na mistura gasosa do biogás.

- **Retirada do gás sulfídrico (H_2S):** os compostos que possuem em suas estruturas derivados do enxofre (S), reagem com muita facilidade com compostos férricos, formando sulfetos ferrosos, que são facilmente depositados nas tubulações de distribuição do biogás (SCHOLZ, 2013). A grande concentração de compostos de enxofre no biogás, resultam na formação de compostos ácidos, sendo altamente prejudiciais e corrosivos a todos os equipamentos compostos por ferro.

De forma geral, Aterros Sanitários convencionais, não possuem altas concentrações de emissões gasosas com a presença de compostos de enxofre

(SCHOLZ, 2013). Porém, quando os Aterros passam a receber resíduos de origem industrial, resíduos de construção civil (RCC's), resíduos de demolição e de restos de animais, a concentração de enxofre é alterada, necessitando assim, de um tratamento adicional para o aproveitamento energético do biogás nessas condições.

A remoção do gás sulfídrico (H_2S) é estritamente biológica, tendo um custo infinitamente menor em relação aos purificadores químicos tradicionais, para a remoção de compostos tóxicos presentes no biogás (SCHOLZ, 2013). Como adicional, resultante do processo de remoção de gás sulfídrico do biogás, temos a geração de um fertilizante líquido de alta qualidade, podendo ser vendido separadamente, gerando assim, fonte de receitas para o Aterro.

- **Retirada dos siloxanos:** a presença de siloxanos na mistura gasosa do biogás, retrata a presença de produtos domésticos e comerciais descartados de forma incorreta nos Aterros Sanitários, tornando-se um dos contaminantes mais comuns e prejudiciais encontrados na mistura do biogás (RYCKEBOSCH, 2011). Ao se realizar a queima completa do biogás, os siloxanos são convertidos em dióxido de silício (SiO_2), um dos principais constituintes da areia, depositando-se no interior dos motores de combustão interna, e reduzindo de forma drástica o rendimento dos equipamentos ligados ao processo de geração de energia elétrica (SCHOLES, 2008).

A remoção desses compostos, pode-se tornar cara e difícil de execução, estando totalmente ligada nas condições do projeto e do tipo de tratamento que o biogás será submetido, antes do seu aproveitamento energético final (SCHOLES, 2008). A técnica de remoção de siloxanos mais utilizada atualmente é a adsorção, processo este, que consiste na passagem do biogás por colunas compostas por filtros de carvão ativo, que adsorvem os siloxanos nas estruturas do carvão, livrando a mistura gasosa desses compostos altamente danosos aos motogeradores.

O desempenho do processo de remoção por meio da adsorção, tem-se demonstrado ultimamente um desempenho abaixo do que seria desejável, devido a baixa qualidade do carvão ativado disponível no Brasil, bem como, no baixo

tempo de residência do biogás nas colunas de tratamento, necessitando assim, de novas técnicas assertivas e eficazes para a remoção desses compostos do biogás.

- **Remoção do gás carbônico:** a remoção do gás carbônico presente no biogás, pode ser realizada através do processo de lavagem com água, ou até mesmo utilizando solventes como o carbonato de potássio (K_2CO_3) em temperaturas elevadas, porém, representa uma alta complexidade em operação, bem como, uma alta periculosidade devido ao risco de explosões (SILVA, 2009; GRANDE, 2011). O principal intuito da remoção do gás carbônico da mistura gasosa do biogás é o aumento de sua pureza, contribuindo assim, para a elevação de seu poder calorífico (RYCKEBOSCH, 2011).

4.2.4 Impactos ambientais gerados pelo biogás

Os gases provenientes da degradação anaeróbia da matéria orgânica, confinada no interior do maciço de resíduos, possuem um alto potencial poluidor quando não coletados e tratados da forma adequada (BRITO FILHO, 2005). O biogás, possui como característica intrínseca, o seu alto poder calorífico, tornando-se assim, um excelente combustível para a geração de energia elétrica a partir de sua combustão em motores a combustão, evitando assim, que o seu potencial energético seja desperdiçado pela sua queima em flares, sem nenhum aproveitamento energético do mesmo (BORBA, 2006).

Um dos impactos ambientais negativos presentes no biogás é o seu odor característico de ovo podre, odor esse, não referido diretamente ao metano presente no biogás, mas, aos outros compostos presentes na mistura, geralmente derivados de compostos de enxofre, trazendo assim, o principal efeito negativo perceptivo a olhos nu, do lançamento do biogás na atmosfera sem nenhuma forma de tratamento (BRITO FILHO, 2005).

Esse odor é resultante da decomposição incompleta da matéria orgânica confinada no interior do maciço de resíduos, atraindo assim, vetores e animais a circunvizinhança da área de instalação do Aterro (MARQUES, LOPES, et al., 2016).

Outro efeito ambiental negativo, do lançamento do biogás na atmosfera, sem nenhuma forma de tratamento é o efeito estufa. Este fenômeno, consiste no aumento da temperatura da

superfície terrestre, acarretando no aumento das temperaturas mínimas em todo o planeta, bem como, no aumento dos níveis dos mares.

O metano, principal componente do biogás de Aterro, tem como característica intrínseca o seu potencial poluidor de 21 vezes maior que o dióxido de carbono, tendo como período de atividade na atmosfera de aproximadamente 100 anos (CETESB, 1998; LIMA, SANTOS, et al., 2018). A contribuição efetiva dos Aterros Sanitários para o agravamento do efeito estufa é de cerca de 13%, sendo assim, os Aterros Sanitários a 3º maior fonte antrópica de gases agravadores do efeito estufa (USEPA, 2008).

No que se trata da redução das emissões de metano proveniente de Aterros Sanitários a atmosfera, podemos citar o aproveitamento ambiental e energético do metano, através da queima, gerando assim eletricidade e/ou a queima do gás quando não passível de aproveitamento, o convertendo em CO₂, composto esse de menor potencial poluidor que o CH₄ (CETESB, 1998; LIMA, SANTOS, et al., 2018).

Segundo dados disponibilizados pelo Painel Intergovernamental sobre mudanças Climáticas (IPCC, 2007), cerca de 5% do total das emissões atmosféricas de gases causadores do efeito estufa (GEE) são originados pela decomposição de resíduos sólidos, em destaque, o metano e óxido nitroso, presentes em efluentes líquidos.

Atualmente, inúmeras tecnologias ambientais estão disponíveis para a mitigação das emissões atmosféricas oriundas dos Aterros Sanitários, preservando assim, a saúde pública local, bem como, no resguardo da qualidade ambiental de toda área de influência direta da instalação do Aterro (MARQUES, LOPES, et al., 2016).

A recuperação do potencial energético oriundo dos gases provenientes do biogás de Aterro Sanitário, demonstram uma excelente ferramenta de desenvolvimento sustentável, reduzindo assim as emissões atmosféricas geradas pelos Aterros, além de contribuírem como fonte de receita pela venda de energia gerada por meio da queima do biogás.

A diminuição dos resíduos dispostos nos Aterros, como a adoção de políticas públicas como a reciclagem, compostagem e consumo consciente, além de economizar o resgate de matérias-primas na natureza, também contribuem para o aumento da eficiência energética de cada tipo de material e redução do uso de combustíveis não renováveis (IPCC, 2007; NIZAMI, REHAN, et al., 2017).

A adoção de políticas públicas para a diminuição do montante de resíduos dispostos de forma inadequada nos Aterros, e a sua decorrente produção de efluentes, contribuem gravemente para o agravamento das questões ambientais ligadas à disposição final de resíduos sólidos urbanos.

Medidas técnicas assertivas, como a adoção correta da reciclagem e aproveitamento energético das emissões atmosféricas de Aterros Sanitários, além de contribuírem para a redução do montante de resíduos dispostas no Aterro, aumentando a sua vida útil, resultam na mitigação dos problemas ambientais complementares a recuperação energética do biogás de Aterros Sanitários.

4.3 Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos - IQR

A utilização de índices para o aferimento da qualidade ambiental de Aterros Sanitários, além de contribuírem para a manutenção das funções ecológicas e para a manutenção da qualidade ambiental das áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos, também permitem ao gestor do Aterro, acompanhar a situação ambiental da área de interferência do maciço de resíduos, por meio de parâmetros pré-estabelecidos, demonstrando a realidade atual do meio ambiente local, assim como, os impactos ambientais negativos oriundos da utilização da área como Aterro Sanitário.

O Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR, foi criado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), com o intuito de aferir a qualidade ambiental das áreas de disposição final dos RSU no Estado de São Paulo, no ano de 1997. A sua utilização, dá-se por meio de índices/indicadores que permitem o acompanhamento da situação ambiental de cada área de disposição final, com o cumprimento das funções ecológicas e sanitárias de cada área estudada.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei 12.305/10, juntamente com a NBR 13.896/97, estabelecem alguns critérios fundamentais para a verificação e classificação de uma área de disposição final de RSU como adequada (BRASIL, 2010b).

Dentre esses critérios, vale-se destacar as informações sobre os resíduos dispostos no Aterro; quantidade de resíduos dispostos; capacidade e vida útil prevista para a área;

infraestrutura existente; sistemas de impermeabilização de base e laterais; sistema de recobrimento diário e cobertura final (ABNT, 1997c).

Em adição, sistema de coleta e drenagem de líquidos percolados; sistema de coleta e tratamentos dos gases; sistema de drenagem superficial; sistema de tratamento de líquidos percolados; sistema de monitoramento, presença de catadores no local; presença de vetores; distância de corpos d'água superficiais e de núcleos populacionais; condições das vias de acesso; empresa responsável pela operação do Aterro e condições atuais de operação (ABNT, 1997b).

Os critérios abordados pela NBR 13.896, além de representarem a efetividade dos instrumentos de monitoramento e controle obrigatórios em áreas de disposição final de RSU, também cria mecanismos essenciais para a elaboração de um Plano de Monitoramento Ambiental da área de interferência direta do maciço de resíduos, criando mecanismos efetivos de controle de possíveis contaminações, decorrentes da utilização da área como Aterro de rejeitos sanitários (ABNT, 1997; BRASIL, 2010b).

O IQR é composto atualmente por 33 indicadores, divididos em grupos específicos: estruturas de apoio; frente de trabalho; taludes e bermas; superfície superior; estruturas de proteção ambiental; outras informações e as características da área (CETESB, 2018).

O índice é calculado por meio de um formulário, contendo todas as informações da área de disposição final de resíduos estudada, e quando preenchido, permite o aferimento das condições reais e atuais da área de estudo, enquadrando-a como inadequada ou adequada, de acordo com os valores pré-estabelecidos para cada item abordado.

O Anexo 1, apresenta a pontuação dos subitens discutidos anteriormente referentes as estruturas de apoio, frente de trabalho, taludes e bermas, superfície superior do Aterro e estruturas de proteção ambiental, conforme detalhados anteriormente, com suas subsequentes pontuações e importância na correta execução de um Aterro Sanitário, e o seu somatório alcançado.

Outras informações pertinentes a operação diária do Aterro também são abordadas, como por exemplo, a presença de catadores no local, tipo de recebimento de resíduos sólidos e no tocante as estruturas de coleta, recebimento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos

no interior do Aterro, com suas subsequentes pontuações e importância na correta execução de um Aterro Sanitário, e o seu somatório alcançado.

Em adição, apresenta as características da área do Aterro, apresentando informações importantíssimas como a distância mínima do Aterro a núcleos habitacionais, bem como, informações referentes a distância mínima requerida pela legislação ambiental vigente dos cursos hídricos, e informações referentes a vida útil do Aterro e restrições legais impostas sobre a área do Aterro, com suas subsequentes pontuações e importância na correta execução de um Aterro Sanitário, e o seu somatório alcançado (CETESB, 2018).

O Anexo 1, também apresenta, as fórmulas utilizadas para o cálculo do IQR além de conter os parâmetros de recebimento ou não de resíduos industriais na área de disposição final do Aterro, com seus respectivos somatórios, e valor final do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos, expressos em uma nota que varia de 0 (zero) a 10 (dez).

Por fim, o Anexo 1, apresenta os valores utilizados para o enquadramento das áreas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, enquadrando-os como Aterros Sanitários, cujas áreas possuem condições adequadas para o acondicionamento final de resíduos sólidos urbanos, ou áreas inapropriadas, cujas infraestruturas não atendem as condições sanitárias e de engenharia capazes de resguardar a qualidade ambiental da área de instalação do Aterro em estudo.

Em síntese, o IQR, visa principalmente fiscalizar o cumprimento das condicionantes ambientais inerente ao resguardo da qualidade ambiental das áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos, garantindo a utilização da melhor tecnologia existente para o acondicionamento final de RSU, assim como, no resguardo da qualidade ambiental das áreas de influência direta de Aterros de RSU as gerações futuras (BRASIL, 2010; CETESB, 2018).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, explicita a importância da disposição final de RSU em áreas apropriadas, evitando danos à saúde pública local, como a minimização dos impactos ambientais negativos decorrentes da utilização da área como Aterro de rejeitos, situação essa, facilmente aferida pelo IQR (BRASIL, 2010b).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, detalham-se os materiais e os métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa experimental como: a caracterização do objeto de estudo, análises físico-químicas de águas superficiais, subterrâneas e efluentes, caracterização da área de estudo segundo o Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR, e a Modelagem matemática utilizada para o estudo de viabilidade técnica, do aproveitamento energético do biogás gerado pelo Aterro Sanitário de Palmas – TO.

5.1 Localização e descrição da área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido no Aterro Sanitário do município de Palmas – TO, localizado a aproximadamente a 26 km do centro administrativo do município, onde, segundo informações repassadas pela Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos, conta com uma área de aproximadamente 92.914 hectares onde são destinados Resíduos Sólidos Urbanos produzidos no município.

5.2 Formato da pesquisa

O formato da pesquisa adotado, para a realização do presente estudo, foi a quali-quantitativa e exploratória (MOREIRA, 2002). As etapas seguintes, constituíram-se de ampla pesquisa bibliográfica sobre a disposição final de resíduos sólidos, segundo as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010b).

Além disso, foi consultado o estudo do projeto de criação do Aterro Sanitário de Palmas – TO, disponibilizado à população, pela Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos (PALMAS, 2009), permitindo desenvolver uma análise crítica e exploratória, sobre os parâmetros necessários para a criação e operação de um Aterro Sanitário de médio porte.

5.3 Visitas técnicas

A realização de visitas técnicas na área do Aterro Sanitário, partiu da necessidade em buscar dados sobre a sua operação diária, e como o mesmo foi concebido, além de uma

entrevista com o Técnico Operacional do Aterro, afim de buscar mais informações precisas acerca da rotina cotidiana da operação do Aterro Sanitário de Palmas – TO.

Dessa forma, foi levantado os seguintes pontos básicos para a classificação de uma área de disposição final de resíduos sólidos: informações sobre os resíduos dispostos no Aterro; quantidade de resíduos dispostos; capacidade e vida útil prevista para a área; infraestrutura existente; sistemas de impermeabilização de base e laterais; sistema de recobrimento diário e cobertura final; sistema de coleta e drenagem de líquidos percolados.

Em adição, sistema de coleta e tratamentos dos gases; sistema de drenagem superficial; sistema de tratamento de líquidos percolados; sistema de monitoramento, presença de catadores no local; presença de vetores; distância de corpos d'água superficiais e de núcleos populacionais; condições das vias de acesso; empresa responsável pela operação do Aterro e condições atuais de operação. Além disso, foi realizado registro fotográfico, com o intuito de elucidar e comprovar o parecer final desse trabalho.

5.4 Análise da infraestrutura física do Aterro Sanitário

A avaliação da infraestrutura física do Aterro Sanitário, foi realizada partindo de comparações dos dados coletados nas etapas anteriores, com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 8419/1992 (ABNT, 1992), que discorre sobre a apresentação de projetos de Aterros Sanitários de resíduos sólidos urbanos e NBR 13896/1997 (ABNT, 1997c), que discorre sobre Aterros de resíduos não perigosos – critério de projeto, implantação e operação – Procedimento, além das legislações estaduais e municipais vigentes.

Dessa forma, foi realizada a avaliação da área de disposição final de resíduos sólidos urbanos de Palmas – TO, a partir do estudo comparativo, identificando a situação real da área de disposição dos resíduos no município, o classificando segundo as diretrizes vigentes da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010b).

5.5 Amostragem de água subterrânea

As amostras de água subterrânea foram coletas a montante e a jusante da área de interferência direta do Aterro Sanitário de Palmas, em três poços de monitoramento localizados na área administrativa, sendo um a montante e dois a jusante do maciço de resíduos,

denominados PM5, PJ6, PJ7, respectivamente, conforme demonstrados pelo Anexo 2, e coletados de acordo com as recomendações da NBR 13895/1997 (ABNT, 1997b) e NBR 15847/2010 (ABNT, 2010).

Para a coleta das amostras de água subterrânea, nos poços de 1 metro de diâmetro, foram utilizados recipientes de PVC (Cloreto de Polivinila) convencionais, conforme orientação do Guia Nacional De Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos da Agência Nacional de Águas do Ministério do Meio Ambiente (ANA, 2011).

Dessa forma, após a medida do nível de água, foram coletadas apenas as amostras de água a partir do poço purgado, a fim de evitar contaminação com a espuma presente na água (ANA, 2011), purgando o poço com 3 volumes de água, evitando assim, a estagnação de água no interior do poço, podendo ser coletada uma amostra representativa da qualidade de água (LOPES, 2007).

As amostras de água, foram armazenadas em galões plásticos de dois litros sem preservantes. Após as coletas nas dependências do Aterro, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins (LARSEN/IFTO), Campus de Palmas, onde foram preparadas para serem posteriormente analisadas.

Após a preparação, as amostras foram separadas em dois recipientes os quais: um frasco de um litro, contendo 2mL NaOH 10N como preservante; e frascos plásticos de quinhentos mililitros, contendo 2,5mL HNO₃ concentrado como preservante, conforme orientação do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).

Ao todo, foram analisados três pontos de amostragem de águas subterrâneas e uma superficial. Todas as amostras foram coletadas, preservadas e armazenadas, conforme orientações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998), respeitando as características dos frascos de coleta, e o tempo ágil de análise.

A amostragem foi realizada no dia 16/04/2018 na estação chuvosa do município de Palmas – TO.

5.5.1 Análise das amostras de água

As análises das amostras de água foram realizadas conforme as orientações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998), juntamente com as legislações ambientais vigentes inerentes a temática como a NBR 13896/1997 (ABNT, 1997a) e Portaria 2914/2011 (BRASIL, 2011a).

5.5.1.1 Ensaio físico-químico

Os parâmetros físico-químicos foram analisados no Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins (LARSEN/IFTO), Campus de Palmas, seguindo recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).

Os parâmetros pH, Temperatura, Sólidos Totais, Sólidos Suspensos e Sólidos Voláteis, Turbidez e Alcalinidade, foram obtidos no Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins (LARSEN/IFTO), Campus de Palmas.

O gás arsênio dissolvido no meio aquoso, os cianetos, e os metais: bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, mercúrio e níquel, foram analisados no laboratório da SGS Geosol Laboratórios Ltda, na filial de Parauapebas no Estado do Pará.

5.5.1.2 Análise dos Resultados das amostras de água

Os resultados obtidos a partir da amostragem de água subterrâneas e superficiais, foram comparadas com os limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente representada pela Portaria 2914/2011 (BRASIL, 2011b) do Ministério da Saúde, em respeito a CONAMA 396/2008 (BRASIL, 2008), que define que o padrão de qualidade das águas subterrâneas, das áreas com interferência direta de Aterros Sanitários, devem possuir o mesmo padrão de qualidade/potabilidade de águas superficiais.

Os parâmetros não referenciados pelo Padrão de Potabilidade do Ministério da Saúde, foram comparados com a CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011a) e sua legislação antecessora

CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), estabelecendo os critérios de qualidade para rios de água doce (Classe 2).

5.6 Amostragem do percolado (chorume) produzido pelo Aterro Sanitário

As amostras coletadas de percolado (chorume), foram coletadas no sistema de tratamento de percolados instalado no Aterro Sanitário de Palmas. As amostras, foram coletadas em quatro unidades do sistema de tratamento, localizados na área administrativa, denominados de L1, L2, L3 e LP, respectivamente, conforme demonstradas pelo Anexo 2, e coletados de acordo com as recomendações da NBR 13895 (ABNT, 1997a) e NBR 10007 (ABNT, 2004a).

Para a coleta das amostras de percolado, nas unidades de tratamento, foram utilizados recipientes de PVC (Cloroeto de Polivinila) convencionais, conforme orientação do Guia Nacional De Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos da Agência Nacional de Águas do Ministério do Meio Ambiente (ANA, 2011).

As amostras de percolado, foram armazenadas em galões plásticos de dois litros sem preservantes, um litro contendo 2mL NaOH 10N como preservante, e frascos plásticos de quinhentos mililitros contendo 2,5mL HNO₃ concentrado como preservante, conforme orientação do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998), assim como realizado nas amostras de água subterrâneas.

Após as coletas nas dependências do Aterro, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins (LARSEN/IFTO), Campus de Palmas, sob refrigeração de 4°C, conforme orientação da NBR 10007 (ABNT, 2004a).

Ao todo, foram analisadas quatro unidades de tratamento do sistema de percolado. Todas as amostras foram coletadas, preservadas e armazenadas conforme orientações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998), respeitando as características dos frascos de coleta, e o tempo ágil de análise.

A amostragem foi realizada no dia 16/04/2018 na estação chuvosa do município de Palmas – TO.

5.6.1 Análise das amostras de percolado (chorume)

A análise das amostras de percolado, foram realizadas conforme as orientações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998), juntamente com as legislações ambientais vigentes inerentes a temática como a CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011a), NBR 10007/2004 (ABNT, 2004b), NBR 13896/2007 (ABNT, 1997a) e a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011b).

5.6.1.1 Ensaio físico-químico

Os parâmetros físico-químicos foram analisados no Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins (LARSEN/IFTO), Campus de Palmas, seguindo recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).

Os parâmetros pH, Temperatura, Sólidos Totais, Sólidos Suspensos e Sólidos Voláteis, Turbidez e Alcalinidade foram obtidos no Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins (LARSEN/IFTO), Campus de Palmas.

O gás arsênio dissolvido no meio aquoso, os cianetos, e os metais: bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, mercúrio e níquel, foram analisados no laboratório da SGS Geosol Laboratórios Ltda, filial de Parauapebas no Estado do Pará, assim como realizado nas amostras de água subterrâneas.

5.6.1.2 Análise dos Resultados das amostras de percolado (chorume)

Os resultados obtidos, a partir da amostragem do percolado produzido pelo Aterro, foram comparados com os limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente, representada pela Portaria 2914/2011 (BRASIL, 2011b) do Ministério da Saúde.

Os parâmetros não referenciados pelo Padrão de Potabilidade do Ministério da Saúde foram comparados com a CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011a) e sua legislação antecessora

CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), estabelecendo os critérios de qualidade para rios de água doce (Classe 2).

5.7 Estimativa da geração teórica do biogás

Para a mensuração da estimativa teórica da geração de biogás no Aterro Sanitário de Palmas - TO foi utilizado o modelo LANDGEM. Quando não se há informações precisas sobre a composição gravimétrica do resíduo, e a sua quantidade disposta, o programa LANDGEM, adota valores da literatura para uma posterior comparação dos parâmetros de entrada k e L_0 .

Os parâmetros que representam a taxa de geração de metano (k), e o potencial de geração de metano (L_0) são essenciais para a correta modelagem ambiental da geração de biogás pelo Aterro Sanitário, pois, a geração de metano está condicionada ao potencial de geração individual de cada resíduo disposto no Aterro, representado pelo parâmetro L_0 .

Para o cálculo do potencial de geração do biogás – L_0 , foi adotada a metodologia proposta pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2001). Devido à falta de informações precisas sobre a vazão de biogás nos drenos do Aterro, o fluxo total do biogás, não pode ser aferido, utilizando o modelo LANDGEM para simular os valores de k encontrados na literatura para Aterros sul-americanos (USEPA, 2005).

Para as condições climáticas do Brasil, o valor de k varia numa faixa de 0,02 a 0,07 a depender da precipitação anual na área de disposição final dos resíduos sólidos urbanos (USEPA, 2005). De acordo com a USEPA (2005), quando a precipitação anual na área do Aterro é superior a 645 mm, o valor adotado de k é de 0,05, como é o caso de Palmas, que possui uma precipitação anual média de cerca de 1760 mm (SEPLAN, 2015).

5.8 Aplicação do IQR

Para o cálculo do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR, foram colhidas informações no Aterro Sanitário de Palmas – TO, acerca do sistema vigente de disposição, e acomodação final dos RSU adotado pelo município. A metodologia adotada para a aferição do IQR foi a disponibilizada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2018), consistindo na aplicação de um questionário desenvolvido a partir de um “check list”, da área de disposição final dos resíduos, aferindo os indicadores da característica do local;

infraestrutura implantada e condições operacionais vigorantes no Aterro como: informações referentes a rotina de operação; infraestruturas existentes; e acerca dos resíduos dispostos no Aterro.

Dessa forma, tornou-se possível a verificação do IQR, por meio do somatório matemático dos itens dispostos no questionário, de acordo com o modelo mais atual do índice, disponibilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados os resultados referentes aos ensaios físico-químicos realizados para o aferimento da qualidade ambiental do lençol freático, e dos recursos hídricos superficiais sobre a área de interferência direta do Aterro Sanitário de Palmas – TO.

Em adição serão apresentados o estudo de viabilidade técnica do aproveitamento energético do biogás gerado no Aterro Sanitário de Palmas, além da aplicação do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos – IQR, a fim de obter-se a classificação atual da área de disposição final dos resíduos sólidos urbanos do município, mediante a aplicação do índice.

Os resultados serão apresentados na forma de dados numéricos, gráficos e modelos matemáticos. A discussão dos resultados, deu-se através da análise crítica do autor, fundamentada em dados encontrados na literatura.

6.1 Indicadores da Estrutura Física do Aterro Sanitário de Palmas

Segundo informações repassadas pelo Gestor de Resíduos Sólidos e Técnico Operacional Antônio Adeluzio Gomes Azevedo, responsável pelo Aterro Sanitário de Palmas, o mesmo recebe atualmente cerca de 270 ton/dia de RSU, com funcionamento durante 24 horas por dia, com exceção da compactação, que somente é realizada no período diurno. No mês de abril do ano de 2018, o Aterro Sanitário de Palmas recebeu cerca de 8.348 toneladas de RSU.

O Aterro Sanitário de Palmas conta atualmente com 30 colaboradores, distribuídos em dois turnos de trabalho e escala de 12/36 horas, que são remanejados nas diversas funções de operação e manutenção do referido local.

Ao chegar ao Aterro, o resíduo é pesado na guarita, para aferir-se o peso da massa de resíduos que é disposta no local diariamente. Após a emissão do ticket eletrônico com a pesagem dos resíduos, eles são encaminhados diretamente para a célula do Aterro, sem passar por nenhuma triagem, conforme demonstrado pelas Figuras 6.1 e 6.2.

Figura 6.1: Pesagem e aferição dos RSU para destinação final no Aterro Sanitário de Palmas – TO.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO.

Figura 6.2: Disposição dos RSU na célula de destinação final do Aterro Sanitário de Palmas – TO.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO.

Segundo informações colhidas *in loco* no Aterro Sanitário de Palmas - TO Aterro e conforme presenciado nas visitas técnicas, após a disposição na célula, o resíduo é compactado e recebe uma cobertura de solo para evitar a proliferação de vetores.

O cercamento da área é composto por postes de concreto com fios de arame liso galvanizado em toda a área que circunda o Aterro. O cercamento vegetal (cinturão verde) é constituído por mangueiras (*Mangifera indica* L.), eucaliptos (*Eucalyptus globulus*) e unhas de gato (*Uncaria tomentosa*), que juntas preenchem toda a área que circunda o Aterro, servindo como isolamento e contenção da poluição visual/sonora gerada pela operação diária do Aterro, conforme demonstrado pelas Figuras 6.3, 6.4 e 6.5.

Figura 6.3: Isolamento físico do Aterro Sanitário de Palmas - TO.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO.

Figura 6.4: Visão da área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO.

Figura 6.5: Visão da entrada do Aterro Sanitário de Palmas – TO, com destaque no cinturão verde instalado.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO.

A entrada do Aterro é sinalizada por uma placa de informação logo no começo de sua vicinal, tendo como acesso, uma estrada vicinal de 6 quilômetros de via não pavimentada. Em sua entrada está instalada uma guarita que restringe o acesso de visitantes e trabalhadores às dependências do Aterro, juntamente com o sistema de controle e pesagem dos resíduos a serem dispostos, conforme demonstrado pelas Figuras 6.6, 6.7 e 6.8.

Figura 6.6: Visão Frontal da área de pesagem do Aterro Sanitário de Palmas - TO.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO.

Figura 6.7: Visão Frontal da entrada do Aterro Sanitário de Palmas - TO.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO.

Figura 6.8: Sinalização interna do Aterro Sanitário de Palmas - TO.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO.

Dessa forma, há um funcionário responsável pela segurança, que impede a entrada de curiosos no interior da área do Aterro, evitando assim, riscos tanto aos funcionários que trabalham em sua operação diária, como aos visitantes.

Os instrumentos necessários para a contabilização da quantidade de resíduos dispostos no Aterro estão operantes e em excelente estado operacional, tais como: balança rodoviária para a pesagem dos caminhões que adentram o Aterro; prédio administrativo para o funcionamento da logística do Aterro; e prédios que sirvam de suporte para os funcionários e vigilantes do Aterro como cozinha, copa, vestiários, banheiros, entre outros.

Ao adentrar no Aterro, os visitantes são recepcionados no Museu do Lixo, onde, por meio de materiais coletados no Aterro, conhecem a história do município, além de serem educados ambientalmente quanto ao consumo sustentável de bens materiais, assim como, no correto descarte, coleta e acondicionamento final dos resíduos sólidos urbanos produzidos na sede municipal, conforme demonstrado pela Figura 6.9.

Figura 6.9: Professor João Marques recepcionando os visitantes no Museu do Lixo do Aterro Sanitário de Palmas - TO.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO.

O tratamento do lixiviado produzido pelas células do Aterro Sanitário de Palmas - TO está disposto na área mais baixa do local, aproveitando o desnível natural do terreno, e foi projetado na seguinte configuração: primeira lagoa anaeróbia, segunda lagoa anaeróbia, lagoa facultativa, lagoa de polimento seguida de tanque de infiltração.

Segundo informações disponibilizadas pela Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos (SEISP, 2017), o Aterro Sanitário de Palmas – TO conta atualmente com cinco células de disposição final de resíduos sólidos urbanos sendo, quatro já encerradas e uma em operação. O monitoramento ambiental do sistema de tratamento de líquidos e percolados instalado no local, demonstra a efetividade do sistema na diminuição da carga orgânica presente no efluente, além de diminuir consideravelmente a concentração de substâncias tóxicas presentes no percolado (MARINHO e OLIVEIRA, 2013).

Atualmente, todo monitoramento ambiental do sistema de controle da poluição gerada pelo Aterro Sanitário de Palmas – TO é realizado por meio de uma Cooperação Técnica entre a Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus de Paraíso do Tocantins (SEISP, 2018).

O sistema de coleta e transporte das emissões atmosféricas instalado no Aterro Sanitário de Palmas é o vertical, composto atualmente por trinta e sete pontos de coleta de biogás prontos a serem acoplados em um sistema de tratamento/aproveitamento energético do biogás gerado pelo Aterro. Porém, atualmente, nenhum tipo de tratamento/aproveitamento energético do biogás é adotado pelo Aterro Sanitário de Palmas, lançando todo o biogás gerado, sem nenhuma forma de tratamento, na atmosfera local.

Dessa forma, conclui-se com a execução do presente estudo em relação aos indicadores da estrutura física da área do Aterro Sanitário de Palmas – TO, a conformidade ambiental das infraestruturas instaladas na área do Aterro, condizendo com as diretrizes ambientais vigentes, necessárias para a destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos do município de Palmas.

6.2 Qualidade ambiental das águas subterrâneas

De acordo com estudos pedológicos realizados na área de estudo, a profundidade média do lençol freático é de cerca de 9 metros, distância essa entre a base do Aterro e o ponto mais alto do lençol freático, extensão que tende a diminuir nos períodos de chuva.

A profundidade média dos poços de monitoramento do lençol freático instalados no Aterro Sanitário de Palmas, varia de 8 a 10 metros de profundidade, de acordo com o desnível

do terreno. Atualmente, todo o sistema de monitoramento do lençol freático conta com 8 poços de monitoramento, manilhados e devidamente demarcados, conforme demonstrado ilustrativamente pela Figura 6.10.

Figura 6.10: Poço de monitoramento do lençol freático instalado na área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO.

Foram coletadas três amostras de água nos poços de monitoramento do lençol freático do Aterro Sanitário de Palmas no dia 16/04/2018, denominados de: poço de monitoramento do lençol freático a montante 5 - PM5; poço de monitoramento do lençol freático a jusante 6 - PJ6; e poço de monitoramento do lençol freático a jusante 7 - PJ7, conforme demonstrado pela Figura 6.11.

Figura 6.11: Coleta da amostra de água subterrânea no poço de monitoramento do lençol freático instalado na área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviço Público de Palmas – TO.

As amostras de água subterrâneas do Aterro Sanitário de Palmas, apresentaram valores de pH variando entre 6,2 a 7,4, indicando um pH em torno do neutro. Estes valores estão de acordo com a Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde, que estabelece um padrão de pH básico para águas de abastecimento público (BRASIL, 2011a), estando em conformidade ambiental nos três poços de monitoramento estudados.

A variação da temperatura no momento das amostras, variou de 18,7 a 24,3°C, com uma variação de aproximadamente 5,6°C, estando em conformidade com os valores encontrados na literatura, e em concordância com os valores descritos por Oliveira (2004).

Para o parâmetro de turbidez, a Portaria N° 2914 do Ministério da Saúde, estabelece um limite máximo de 5 UT para amostras de água doce potáveis (BRASIL, 2011b). Entretanto, foram obtidos valores 103, 336 e 49,2 UT para os poços PM5, PJ6 e PJ7 respectivamente, valores esses, superior ao limite máximo recomendado pelo Padrão de Potabilidade de Água.

Os valores altos encontrados nos poços de monitoramento do lençol freático do Aterro Sanitário de Palmas podem ser explicitados pelo fato dos poços terem sido apenas purgados no momento da coleta das amostras, como recomenda a norma específica para a análise de águas profundas (ABNT, 2010), e descritos anteriormente na metodologia abordada pelo presente estudo, retratando assim, uma turbidez superior a real encontrada no lençol freático.

A comparação realizada entre o Padrão de Potabilidade de Água para fins de consumo humano, e as amostras de água bruta em um dado recurso hídrico, servem como critério norteador da qualidade das águas subterrâneas brutas, posteriormente, submetidas a um tratamento simplificado (filtração, desinfecção), para serem distribuídas na rede de distribuição local, conforme orientado pela NBR 12216/1992 (ABNT, 1992).

A Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde, não estabelece valores norteadores para o parâmetro de alcalinidade em águas subterrâneas. Porém, o aferimento da alcalinidade em águas profundas é essencial para se aferir a capacidade de uma água em neutralizar ácidos fortes, tornando-se uma medida indireta de verificação da contaminação do lençol freático por compostos tóxicos antrópicos (CELLIGO, 1999).

Dessa forma, os valores obtidos por meio do aferimento do padrão de alcalinidade nos poços de monitoramento do lençol freático PM5, PJ6 e PJ7, foram comparados com os valores encontrados por Capp (2012) em sua pesquisa experimental, ficando muito acima dos valores encontrados pelo presente estudo, conforme demonstrado na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Dados do monitoramento das águas subterrâneas coletadas na área de estudo, referentes ao parâmetro de alcalinidade.

PARÂMETRO	MÉDIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	
	Marques 2018 ¹	Capp 2012 ²
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	73,85	154,2

Fonte: O autor (2018).

¹ Marques, M. S. 2018. Monitoramento ambiental e estudo de viabilidade técnica do aproveitamento energético do biogás gerado no Aterro Sanitário de Palmas – TO. Dissertação (Mestrado). Palmas, Universidade Federal do Tocantins.

² Capp, N. 2012. Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). Artigo publicado em periódico científico. Santa Maria, Geografia Ensino & Pesquisa, Vol. 16, n. 3, set./dez. 2012.

A Portaria Nº 2914/11, que estabelece o Padrão de Potabilidade de Águas para Abastecimento Público, estabelece o limite de 1000 mg/L para Sólidos Dissolvidos Totais,

porém, não estabelece limites norteadores/fiscalizadores para os parâmetros da série de sólidos (sólidos suspensos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis), para uma posterior fiscalização da qualidade ambiental em águas subterrâneas.

Contudo, alguns autores como Lopes (2007), encontraram valores muito abaixo dos encontrados no lençol freático da área de interferência direta do Aterro Sanitário de Palmas, conforme demonstrado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Dados do monitoramento das águas subterrâneas coletadas na área de estudo, referentes aos parâmetros da série de sólidos.

PARÂMETROS	MÉDIAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	
	Marques 2018 ¹	Lopes 2007 ²
Sólidos Totais (mg/L)	1691,00	531,75
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	1294,17	320,38
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	396,83	211,37

Fonte: O autor (2018).

¹ Marques, M. S. 2018. Monitoramento ambiental e estudo de viabilidade técnica do aproveitamento energético do biogás gerado no Aterro Sanitário de Palmas – TO. Dissertação (Mestrado). Palmas, Universidade Federal do Tocantins.

² Lopes, A. A. 2007. Estudo da gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos na Bacia Tietê Jacaré (UGRHI – 13). Tese (Doutorado). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

De modo geral, a maioria dos parâmetros aferidos para a verificação da qualidade da água subterrânea, na área de interferência direta do maciço de resíduos, estiveram muito abaixo dos limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 420/2009, que estabelece os valores orientadores para a qualidade dos solos e águas subterrâneas, e pelo Padrão de Potabilidade de Águas para Abastecimento Público, conforme demonstrado na Tabela 6.3.

Tabela 6.3: Dados do monitoramento do lençol freático da área de estudo.

Parâmetros	Sistema de Monitoramento do Lençol Freático				* VMP
	PM5	PJ6	PJ7	und.	
Arsênio Total	<0,004	<0,004	<0,004	mg As/L	0,01 ** mg As/L
Bário Total	0,04	0,12	0,06	mg Ba/L	0,7 ** mg Ba/L
Cádmio Total	<0,001	<0,001	<0,001	mg Cd/L	0,005 ** mg Cd/L
Chumbo Total	<0,01	<0,01	<0,01	mg Pb/L	0,01 ** mg Pb/L
Cianeto Total	<0,01	<0,01	<0,01	mg CN-/L	NR mg CN-/L
Cobre Total	<0,009	<0,009	<0,009	mg Cu/L	2 ** mg Cu/L
Cromo Total	<0,01	<0,01	<0,01	mg Cr/L	0,05 ** mg Cr/L
Ferro Total	<0,1	<0,1	<0,1	mg Fe/L	2,45 ** mg Fe/L
Mercúrio Total	<0,0002	<0,0002	<0,0002	mg Hg/L	0,001 ** mg Hg/L
Níquel Total	<0,01	<0,01	<0,01	mg Ni/L	0,02 mg Ni/L

Fonte: O autor (2018).

* VMP - Valores Máximos Permitidos de acordo com a Resolução CONAMA 420/09.

** Padrões de Potabilidade de Substâncias Químicas que representam risco a saúde definidos pela Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde.

As concentrações apresentadas pelos parâmetros analisados, não apresentaram valores preocupantes, estando todos dentro dos limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente, inerente a qualidade das águas subterrâneas em áreas com interferência direta de Aterros de resíduos.

O cumprimento dos parâmetros de qualidade da água subterrânea, demonstra a efetividade dos sistemas de isolamento e confinamento da contaminação gerada pela degradação física e biológica dos resíduos sólidos dispostos no Aterro.

As estruturas de impermeabilização da base do maciço e do solo abaixo do Aterro, tem demonstrado uma efetividade de sua aplicação, visto que, o lençol freático da área de interferência direto do maciço de resíduos sólidos, não está poluído/contaminado com os parâmetros analisados pelo presente estudo.

6.3 Qualidade ambiental da água superficial

Foi coletada uma amostra de água no olho d'água presente na área administrativa do Aterro Sanitário de Palmas no dia 16/04/2018, conforme demonstrado pela Figura 6.12. A

coleta foi realizada com o intuito de verificar se há alguma interferência ambiental na qualidade das águas superficiais causadas pelo uso da área, como Aterro de resíduos.

Figura 6.12: Coleta da amostra de água superficial no olho d'água na área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO.

A amostra de água superficial do olho d'água, apresentou um pH de 7,1, em torno do neutro. Este valor está de acordo com a Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde, que estabelece um padrão de pH básico, para águas para abastecimento público (BRASIL, 2011a), estando em conformidade ambiental.

A temperatura no momento da amostra, foi de 21,2 °C, estando em conformidade com os valores encontrados na literatura, e em concordância com os valores descritos por Oliveira (2004).

Para o parâmetro de turbidez, a Portaria N° 2914 do Ministério da Saúde, estabelece um limite máximo de 5UT para amostras de água doce potáveis (BRASIL, 2011b). Entretanto, foi obtido o valor de 248UT, valor esse, muito superior ao limite máximo recomendado pelo Padrão de Potabilidade de Água.

A comparação realizada entre o Padrão de Potabilidade de Água para fins de consumo humano, e as amostras de água bruta em um dado recurso hídrico, servem como critério norteador da qualidade das águas superficiais, posteriormente, submetidas a um tratamento convencional (gradagem, decantação, filtração, desinfecção), para serem distribuídas na rede de distribuição local, conforme orientado pela NBR 12216/1992 (ABNT, 1992).

Em águas superficiais, o padrão de alcalinidade demonstra a ocorrência de contaminação por substâncias antrópicas como CO_2 , NH_3 e HCO_3^- , substâncias essas, originadas da degradação da matéria orgânica de forma anaeróbia, provenientes de Aterros Sanitários (SANTOS, 2008).

A grande concentração de acidez em fontes naturais de água doce, podem indicar o lançamento de efluentes líquidos com altas concentrações de CO_2 , ácidos minerais e sais hidrolisáveis, compostos estes, que indicam a contaminação superficial provenientes de efluentes líquidos de Aterros Sanitários (COELHO, LIMA, et al., 2004).

Na falta de um padrão para a aferição do parâmetro de alcalinidade em águas superficiais, o valor encontrado pelo presente estudo, foi comparado com os valores encontrados por Sousa (2016), em sua pesquisa experimental, ficando abaixo dos valores encontrados pelo presente estudo, conforme demonstrado na Tabela 6.4.

Tabela 6.4: Dados do monitoramento das águas superficiais coletadas na área de estudo, referentes ao parâmetro de alcalinidade.

PARÂMETRO	MÉDIA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	
	Marques 2018 ¹	Sousa 2016 ²
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	97,06	112,74

Fonte: O autor (2018).

¹ Marques, M. S. 2018. Monitoramento ambiental e estudo de viabilidade técnica do aproveitamento energético do biogás gerado no Aterro Sanitário de Palmas – TO. Dissertação (Mestrado). Palmas, Universidade Federal do Tocantins.

² Sousa, S. S. 2016. Análise físico-química e microbiológica da água do rio Grajaú, na cidade de Grajaú - MA. Artigo publicado em periódico científico. Santa Maria, Ciência e Natura, v.38 n.3, set/dez 2016.

A Portaria N° 2914, que estabelece o Padrão de Potabilidade de Águas para Abastecimento Público, estabelece o limite de 1000 mg/L para Sólidos Dissolvidos Totais, porém, não estabelece limites norteadores/fiscalizadores para os parâmetros da série de sólidos

(sólidos suspensos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis) para uma posterior fiscalização de qualidade ambiental em águas superficiais.

Contudo, alguns autores como Lemos (2016) e EMBRAPA (2011), encontraram valores próximos e distintos respectivamente, dos encontrados na área estudada, conforme demonstrado na Tabela 6.5.

Tabela 6.5: Dados do monitoramento das águas superficiais coletadas na área de estudo, referentes aos parâmetros da série de sólidos.

PARÂMETROS	MÉDIAS DA ÁGUA SUPERFICIAL		
	Marques 2018 ¹	Lemos 2016 ²	EMBRAPA 2011 ³
Sólidos Totais (mg/L)	538,63	672,67	160,27
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	494,5	609,47	65,17
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	44,13	63,2	95,1

Fonte: O autor (2018).

¹ Marques, M. S. 2018. Monitoramento ambiental e estudo de viabilidade técnica do aproveitamento energético do biogás gerado no Aterro Sanitário de Palmas – TO. Dissertação (Mestrado). Palmas, Universidade Federal do Tocantins.

² Lemos, R. S. 2016. Qualidade da água da lagoa do parque poliesportivo de Itapetinga, BA. Artigo publicado em anais de Congresso. Brasília, XIV ENEEAmb, II Fórum Latino e I SBEA.

³ EMBRAPA. 2011. Análise da qualidade da água. Contrato n° 6000.00419115.08.2. Relatório Técnico. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

De modo geral, a maioria dos parâmetros aferidos para a verificação da qualidade da água superficial na área de interferência direta do maciço de resíduos, estiveram abaixo dos limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005, que estabelece os valores orientadores para a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, conforme demonstrado na Tabela 6.6.

Tabela 6.6: Dados do monitoramento das águas superficiais da área de estudo.

Parâmetros	Lagoa	und.	* VMP
Arsênio Total	<0,001	mg As/L	0,01 mg As/L
Bário Total	0,01	mg Ba/L	0,7 mg Ba/L
Cádmio Total	<0,001	mg Cd/L	0,001 mg Cd/L
Chumbo Total	<0,01	mg Pb/L	0,01 mg Pb/L
Cianeto Total	<0,01	mg CN-/L	NR mg CN-/L
Cobre Total	<0,001	mg Cu/L	NR mg Cu-/L
Cromo Total	<0,01	mg Cr/L	0,05 mg Cr/L
Ferro Total	<0,1	mg Fe/L	NR mg Fe/L
Mercúrio Total	<0,0001	mg Hg/L	0,002 mg Hg/L
Níquel Total	<0,01	mg Ni/L	0,025 mg Ni/L

Fonte: O autor (2018).

* VMP - Valores Máximos Permitidos de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005.

As concentrações apresentadas pelos parâmetros analisados, não apresentaram valores preocupantes, estando todos dentro dos limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente, inerentes a qualidade das águas superficiais em áreas com interferência direta de Aterros de resíduos.

O cumprimento dos parâmetros de qualidade da água superficial, demonstra a efetividade dos sistemas de drenagem pluviais instalados nas células que não recebem mais resíduos, evitando assim, que a água proveniente das chuvas, entrem em contato com os líquidos e percolados gerados pelo Aterro, aumentando assim, a sua vazão e consequente volume no sistema de tratamento de líquidos e percolados instalado na área do Aterro.

As estruturas de contenção da poluição/contaminação instaladas na área do maciço de resíduos, tem demonstrado uma efetividade de sua execução, visto que, o recurso hídrico superficial analisado pela execução do presente estudo, não está poluído/contaminado com os parâmetros analisados pela execução deste trabalho.

6.4 Qualidade ambiental dos líquidos e percolados

A escolha do local de instalação da área do sistema de tratamento dos líquidos e percolados deu-se na parte mais baixa do terreno, aproveitando assim, de forma eficaz o seu

escoamento natural, possibilitando que o escoamento dos líquidos e percolados do Aterro sejam conduzidos apenas com o auxílio do desnível natural do terreno, juntamente com a ação da força gravitacional.

O tratamento de líquidos e percolados por sua vez, está disposto na cota mais baixa do Aterro e foi projetado na seguinte configuração: 1º lagoa anaeróbia, com as seguintes dimensões: 22m de largura, 52m de comprimento e 5m de profundidade; 2º lagoa anaeróbia, com as seguintes dimensões: 22m de largura, 52m de comprimento e 4,5m de profundidade; 3º lagoa facultativa, com as seguintes dimensões: 22m de largura, 52m de comprimento e 3m de profundidade; 4º lagoa de polimento, com as seguintes dimensões: 20m de largura, 99m de comprimento e 2,5m de profundidade; 5º lagoa de infiltração, com aproximadamente 1.179m² de área espelhada com profundidade de aproximadamente 3m.

No sistema de tratamento de líquidos e percolados instalado no Aterro Sanitário de Palmas – TO, foram coletadas quatro amostras de percolado nas lagoas de tratamento no dia 16/04/2018, denominadas de: lagoa de tratamento 1 – L1; lagoa de tratamento 2 – L2; lagoa de tratamento 3 – L3; e lagoa de polimento – LP, conforme demonstrado pelas Figuras 6.13, 6.14, 6.15 e 6.16.

Figura 6.13: Coleta da amostra de percolado no sistema de tratamento instalado na área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO.

Figura 6.14: Coleta da amostra de percolado no sistema de tratamento instalado na área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO.

Figura 6.15: Coleta da amostra de percolado no sistema de tratamento instalado na área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO.

Figura 6.16: Coleta da amostra de percolado no sistema de tratamento instalado na área do Aterro Sanitário de Palmas - TO.



Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO.

As amostras de percolado do Aterro Sanitário de Palmas, apresentaram valores de pH variando entre 7,8 a 8,6, indicando um pH alcalino. Estes valores estão de acordo com a Resolução CONAMA N°430/2011, que estabelece um padrão de pH que pode variar de 5 a 9 para o lançamento de efluentes diretamente em corpos receptores (BRASIL, 2011a), estando em conformidade ambiental nas quatro lagoas de tratamento do sistema implantado no Aterro.

A variação da temperatura no momento das amostras, variou de 18,7 a 23,4 °C, com uma variação de aproximadamente 4,7°C, estando em conformidade com os valores encontrados na literatura, e em concordância com os valores descritos por Machado (2009).

Em se tratando da alcalinidade em lixiviados de Aterros Sanitários, a mesma demonstra a presença de nitrogênio amoniacal na forma predominante de bicarbonato de amônio, podendo ocorrer em concentrações superiores a 15.000 mgCaCO₃.L⁻¹ (INANC, CALLI e SAATCI, 2000), servindo como agente tamponador das reações químicas presentes no tratamento biológico de lixiviados, provenientes da degradação anaeróbia da matéria orgânica confinada no maciço de resíduos, bem como, na inibição de todo tratamento físico-químico associado a esse tipo de efluente (CONTRERA, 2007).

Na ausência de um padrão para a aferição do parâmetro de alcalinidade em lixiviados de Aterros Sanitários, referenciado pela Resolução CONAMA Nº 430/11, o valor encontrado pelo presente estudo, foi comparado com os valores encontrados por Amaral (2009), em sua pesquisa experimental, ficando muito acima dos valores encontrados pelo presente estudo, conforme demonstrado na Tabela 6.7.

Tabela 6.7: Dados do monitoramento dos líquidos e percolados coletados no sistema de tratamento instalado na área de estudo, referentes ao parâmetro de alcalinidade.

PARÂMETRO	MÉDIAS DOS LÍQUIDOS E PERCOLADOS	
	Marques 2018 ¹	Amaral 2009 ²
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	1403,15	10680,00

Fonte: O autor (2018).

¹ Marques, M. S. 2018. Monitoramento ambiental e estudo de viabilidade técnica do aproveitamento energético do biogás gerado no Aterro Sanitário de Palmas – TO. Dissertação (Mestrado). Palmas, Universidade Federal do Tocantins.

² Amaral, M. S. 2009. Tratamento físico-químico de lixiviado de Aterro Sanitário pré-tratado por processo biológico aeróbio. Dissertação (Mestrado). São Paulo, Universidade de São Paulo.

A Resolução CONAMA Nº 430/11, que firma as condições e padrões de lançamento de efluentes, estabelece o limite de 1000 mg/L para Sólidos Dissolvidos Totais, porém, não estabelece limites norteadores/fiscalizadores para os parâmetros da série de sólidos (sólidos suspensos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis) para uma posterior fiscalização de qualidade ambiental em águas superficiais.

Contudo, alguns autores como Cantreira (2003) e Ferreira (2010), encontraram valores condizentes dos encontrados na área estudada, conforme demonstrado na Tabela 6.8.

Tabela 6.8: Dados do monitoramento dos líquidos e percolados coletados no sistema de tratamento instalado na área de estudo, referentes aos parâmetros da série de sólidos.

PARÂMETROS	MÉDIAS DOS LÍQUIDOS E PERCOLADOS		
	Marques 2018 ¹	Contrera 2003 ²	Ferreira 2010 ³
Sólidos Totais (mg/L)	10120,00	9096,00	15454,00
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	9631,83	7133,00	8524,00
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	488,17	1933,00	6930,00

Fonte: O autor (2018).

¹ Marques, M. S. 2018. Monitoramento ambiental e estudo de viabilidade técnica do aproveitamento energético do biogás gerado no Aterro Sanitário de Palmas – TO. Dissertação (Mestrado). Palmas, Universidade Federal do Tocantins.

² Contrera, R. C. 2003. Tratamento biológico de líquidos percolados de Aterros sanitários utilizando reator anaeróbio horizontal de leito fixo. Dissertação (Mestrado). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

³ Ferreira, A. G. 2010. Estudo dos lixiviados das frações do Aterro sanitário de São Carlos – SP por meio da caracterização físico-química. Dissertação (Mestrado). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

De modo geral, a maioria dos parâmetros aferidos para a verificação da qualidade do percolado presente no sistema de tratamento instalado na área do Aterro, estiveram abaixo dos limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 430/2011, que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, conforme demonstrados na Tabela 6.9.

Tabela 6.9: Dados do monitoramento dos líquidos e percolados coletados no sistema de tratamento instalado na área de estudo.

Parâmetros	Sistema de Tratamento de Percolados					* VMP
	L1	L2	L3	LP	und.	
Arsênio Total	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	mg As/L	0,5 mg/L As
Bário Total	0,16	0,12	0,09	0,05	mg Ba/L	5,0 mg/L Ba
Cádmio Total	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	mg Cd/L	0,2 mg/L Cd
Chumbo Total	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	mg Pb/L	0,5 mg/L Pb
Cianeto Total	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	mg CN-/L	1,0 mg/L CN
Cobre Total	<0,009	<0,009	<0,009	0,02	mg Cu/L	1,0 mg/L Cu
Cromo Total	0,03	0,02	0,02	0,02	mg Cr/L	0,1 mg/L Cr+6
Ferro Total	6,55	5,54	4,41	3,2	mg Fe/L	15,0 mg/L Fe
Mercúrio Total	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	mg Hg/L	0,01 mg/L Hg
Níquel Total	0,03	0,023	0,023	0,025	mg Ni/L	2,0 mg/L Ni

Fonte: O autor (2018).

* VMP - Valores Máximos Permitidos de acordo com a Resolução CONAMA 430/11.

As concentrações apresentadas pelos parâmetros analisados, não apresentaram valores preocupantes, estando todos dentro dos limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente, inerente a qualidade dos efluentes tratados pelo sistema instalado no Aterro Sanitário de Palmas – TO.

O cumprimento dos parâmetros de qualidade do efluente tratado, demonstra a efetividade do sistema de tratamento de líquidos e percolados proposto e instalado no Aterro, resguardando a qualidade ambiental da área de interferência direta do Aterro em estudo.

O monitoramento ambiental dos líquidos e percolados gerados pelo Aterro Sanitário, em concomitância com o aferimento dos níveis de contaminação por metais pesados, constitui um importante instrumento de gestão ambiental, das áreas de interferência direta de Aterros Sanitários.

A manutenção dos índices adequados da qualidade dos efluentes gerados pelo Aterro, visam o resguardo da qualidade ambiental da área de locação do empreendimento, bem como, no controle da poluição gerada aos solos, ar e das águas superficiais e subterrâneas, proporcionando o resguardo da proliferação de doenças, derivadas dos compostos tóxicos advindos da degradação física/biológica dos resíduos dispostos no Aterro (CELERE, OLIVEIRA, et al., 2007).

6.5 Estimativa da geração teórica do biogás no Aterro Sanitário de Palmas - TO

A metodologia desenvolvida pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC, para a estimativa da geração teórica de emissões atmosféricas em Aterros Sanitários é de suma importância para a modelagem ambiental da produção de biogás, provenientes da degradação/estabilização da matéria orgânica confinada no interior do maciço de resíduos.

Os valores obtidos por meio da aferição da porcentagem de carbono orgânico degradável (COD) presente na massa de resíduos, bem como, nos valores referentes ao potencial de geração de metano dos resíduos sólidos urbanos (L_0) são utilizados em outras metodologias para a aferição da geração de metano em Aterros Sanitários.

Portanto, a metodologia desenvolvida e disponibilizada pelo IPCC é essencial para toda e qualquer modelagem ambiental da aferição da geração de biogás, oriundos de Aterros Sanitários, servindo como aporte fundamental para o bom funcionamento das demais tecnologias desenvolvidas, inerentes a temática.

6.5.1 Estimativa do crescimento populacional para o município de Palmas - TO

Para a análise da estimativa do crescimento populacional do município de Palmas, foram utilizados dados dos Censos Demográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), em conjunto com dados disponibilizados pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas (PALMAS, 2014).

O método utilizado para a projeção populacional do município, foi a de Taxas Geométricas de Crescimento Anual (TGCA), devido a característica intrínseca do município em não crescer conforme as características comuns das demais capitais brasileiras.

A distribuição da população do município de Palmas é resultante da junção da população urbana na sede municipal, considerando também a população das sedes distritais de Taquaruçu e Buritirama, que também contribuem para a geração de resíduos sólidos urbanos para a disposição no Aterro Sanitário de Palmas.

Dessa forma, a partir da análise dos dados disponibilizados acerca da população do município de Palmas, tornou-se possível a execução da modelagem matemática para a projeção

da estimativa populacional do município de Palmas – TO, conforme demonstrado nas Tabelas 6.10, 6.11 e 6.12.

Tabela 6.10: Evolução da População da zona urbana do município de Palmas – TO.

EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO DA ZONA URBANA DE PALMAS				
Ano	TGCA (%)	Pop. total (hab.)	Taxa urb. (%)	Pop. urbana (hab.)
2018	2,87	286.873	97,34	278.725
2019	2,87	295.108	97,36	286.743
2020	2,87	303.579	97,39	294.992
2021	2,73	311.858	97,42	303.055
2022	2,59	319.937	97,45	310.924
2023	2,46	327.812	97,48	318.596
2024	2,34	335.476	97,5	326.065
2025	2,22	342.928	97,53	333.327
2026	2,11	350.164	97,56	340.381
2027	2	357.184	97,59	347.226
2028	1,9	363.986	97,61	353.860
2029	1,81	370.572	97,64	360.283
2030	1,72	376.941	97,67	366.498
2031	1,63	383.096	97,7	372.504
2032	1,55	389.038	97,73	378.305
2033	1,47	394.771	97,75	383.903
2034	1,4	400.297	97,78	389.301
2035	1,33	405.621	97,81	394.502
2036	1,26	410.746	97,84	399.511
2037	1,2	415.676	97,87	404.330
2038	1,14	420.416	97,89	408.966
2039	1,08	424.970	97,92	413.421
2040	1,03	429.343	97,95	417.701
2041	0,98	433.540	97,98	421.810
2042	0,93	437.567	98	425.753
2043	0,93	441.414	98	429.500

* **TGCA** – Taxa Geométrica de Crescimento Anual.

Fonte: Adaptado de PALMAS (2014).

Tabela 6.11: Evolução da População do Distrito de Taquaruçu – TO.

EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO DO DISTRITO DE TAQUARUÇU				
Ano	TGCA (%)	Pop. total (hab.)	Taxa urb. (%)	Pop. urbana (hab.)
2018	2,87	5.954	78,85	4.695
2019	2,87	6.125	78,9	4.833
2020	2,87	6.301	78,95	4.974
2021	2,73	6.473	79	5.113
2022	2,59	6.640	79,04	5.249
2023	2,46	6.804	79,09	5.381
2024	2,34	6.963	79,14	5.510
2025	2,22	7.118	79,19	5.636
2026	2,11	7.268	79,23	5.759
2027	2	7.413	79,28	5.877
2028	1,9	7.555	79,33	5.993
2029	1,81	7.691	79,38	6.105
2030	1,72	7.823	79,43	6.214
2031	1,63	7.951	79,47	6.319
2032	1,55	8.075	79,52	6.421
2033	1,47	8.194	79,57	6.519
2034	1,4	8.308	79,62	6.615
2035	1,33	8.419	79,66	6.707
2036	1,26	8.525	79,71	6.796
2037	1,2	8.627	79,76	6.881
2038	1,14	8.726	79,81	6.964
2039	1,08	8.820	79,86	7.044
2040	1,03	8.911	79,9	7.120
2041	0,98	8.998	79,95	7.194
2042	0,93	9.082	80	7.265
2043	0,93	9.162	80	7.329

* **TGCA** – Taxa Geométrica de Crescimento Anual.

Fonte: Adaptado de PALMAS (2014).

Tabela 6.12: Evolução da População do Distrito de Buritirana – TO.

EVOLUÇÃO POPULACIONAL DISTRITO BURITIRANA				
Ano	* TGCA (%)	Pop. total (hab.)	Taxa urb. (%)	Pop. urbana (hab.)
2018	2,87	1.945	45,52	885
2019	2,87	2.001	45,7	914
2020	2,87	2.058	45,88	944
2021	2,73	2.114	46,06	974
2022	2,59	2.169	46,24	1.003
2023	2,46	2.222	46,42	1.032
2024	2,34	2.274	46,6	1.060
2025	2,22	2.325	46,79	1.088
2026	2,11	2.374	46,97	1.115
2027	2	2.422	47,15	1.142
2028	1,9	2.468	47,34	1.168
2029	1,81	2.512	47,52	1.194
2030	1,72	2.556	47,71	1.219
2031	1,63	2.597	47,9	1.244
2032	1,55	2.638	48,08	1.268
2033	1,47	2.676	48,27	1.292
2034	1,4	2.714	48,46	1.315
2035	1,33	2.750	48,65	1.338
2036	1,26	2.785	48,84	1.360
2037	1,2	2.818	49,03	1.382
2038	1,14	2.850	49,22	1.403
2039	1,08	2.881	49,42	1.424
2040	1,03	2.911	49,61	1.444
2041	0,98	2.939	49,8	1.464
2042	0,93	2.967	50	1.483
2043	0,93	1.993	50	1.496

* **TGCA** – Taxa Geométrica de Crescimento Anual.

Fonte: Adaptado de PALMAS (2014).

Assim, a partir da evolução da população urbana do município de Palmas, atendida pelos serviços de limpeza pública e manejo de resíduos sólidos urbanos, foi possível estimar-se a evolução da população efetivamente atendida pelos programas de saneamento urbano municipais, conforme demonstrado na Tabela 6.13, num horizonte de projeto de 25 anos, conforme a capacidade da vida útil do Aterro Sanitário de Palmas.

Tabela 6.13: Evolução da População do município de Palmas – TO.

Ano	População estimada (hab.)
2018	284.305
2019	292.490
2020	300.910
2021	309.142
2022	317.176
2023	325.009
2024	332.635
2025	340.051
2026	347.255
2027	354.245
2028	361.021
2029	367.582
2030	373.931
2031	380.067
2032	385.994
2033	391.714
2034	397.231
2035	402.547
2036	407.667
2037	412.593
2038	417.333
2039	421.889
2040	426.265
2041	430.468
2042	434.501
2043	438.325

Fonte: Adaptado de PALMAS (2014).

De posse dos dados da estimativa populacional do município de Palmas, torna-se possível a execução da projeção da geração de resíduos sólidos urbanos no município, conforme as características intrínsecas de Palmas - TO.

6.5.2 Estimativa da geração de resíduos sólidos urbanos no município de Palmas - TO

Para a elaboração da estimativa da geração de resíduos sólidos urbanos para o município de Palmas – TO, uma projeção de 25 anos da vida útil do Aterro Sanitário foi adotada conforme horizonte de projeto demonstrado pelo Plano Municipal de Saneamento Básico do Município (PALMAS, 2014), abrangendo uma coleta de 100% (cem por cento) dos resíduos produzidos pelos habitantes do município.

Para a elaboração do índice *per capita* de geração de resíduos sólidos urbanos, foi adotado o valor disponibilizado pelo último Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2015, da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2016), conforme demonstrado na Tabela 6.14.

Tabela 6.14: Geração de RSU no Brasil.

Ano	Geração total de Rsu per capita (kg/hab/dia)
2014	1,062
2015	1,071

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2016).

De posse dos dados da estimativa populacional para o município de Palmas – TO, em conjunto com o índice de geração de resíduos, tornou-se possível a obtenção do prognóstico da quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados no município, considerando um incremento adicional de 1% no índice de geração de resíduos, em relação ao seu ano anterior.

A utilização do incremento adicional no índice de geração de resíduos, em relação ao seu ano anterior, demonstra um aumento real e significativo da geração de resíduos em todo período amostral, não considerando assim que a taxa de geração de RSU seja a mesma do início da modelagem, no final do período estudado, tomando como base, o último aumento na taxa de geração de resíduos sólidos urbanos registrado e descrito pelo Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017 (ABRELPE, 2018), conforme demonstrado pela Tabela 6.15.

Tabela 6.15: Prognóstico da quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados por ano pelo município de Palmas – TO (2018 – 2043).

Ano (t)	População (habitantes)	Índice per capita de massa coletada, com acréscimo de 1% ao ano (kg/hab./dia)	Quantidade anual coletada de resíduos sólidos urbanos (t/ano)
2018	284.305	1,071	111.139.089,08
2019	292.490	1,081	115.406.316,85
2020	300.910	1,091	119.826.875,65
2021	309.142	1,101	124.233.349,83
2022	317.176	1,111	128.619.625,64
2023	325.009	1,121	132.982.307,49
2024	332.635	1,131	137.316.717,53
2025	340.051	1,141	141.619.339,72
2026	347.255	1,151	145.887.034,33
2027	354.245	1,161	150.116.632,43
2028	361.021	1,171	154.305.790,72
2029	367.582	1,181	158.451.734,83
2030	373.931	1,191	162.553.414,67
2031	380.067	1,201	166.608.070,46
2032	385.994	1,211	170.615.137,91
2033	391.714	1,221	174.573.219,81
2034	397.231	1,231	178.481.846,77
2035	402.547	1,241	182.339.701,86
2036	407.667	1,251	186.146.867,21
2037	412.593	1,261	189.902.117,15
2038	417.333	1,271	193.607.038,70
2039	421.889	1,281	197.260.530,29
2040	426.265	1,291	200.862.461,98
2041	430.468	1,301	204.414.186,82
2042	434.501	1,311	207.915.246,02
2043	438.325	1,321	211.344.973,63

Fonte: O autor.

6.5.2.1 Cálculo do carbono orgânico degradável (COD)

Para o cálculo do carbono degradável dos resíduos sólidos urbanos, foram utilizados os dados da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de Palmas – TO, disponibilizados pelo Plano Municipal de Saneamento Básico do município (PALMAS, 2014), os quais, foram divididos entre: papel e papelão; plástico; metal; vidro; tetra park; matéria orgânica; absorventes, papel higiênico e fraldas; componentes eletrônicos, tecidos e calçados, conforme demonstrado na Tabela 6.16.

Tabela 6.16: Composição Gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município de Palmas – TO.

Composição gravimétrica	Fração presente nos resíduos (%)
Papel e Papelão	8,59
Plástico	26,18
Metal	3,68
Vidro	7,77
Tetra Pak	2,25
Matéria Orgânica	38,24
Absorventes, Papel Higiênico e Fraldas	6,13
Componentes Eletrônicos, Tecidos e Calçados	7,16

Fonte: Adaptado de PALMAS (2014).

Dentre os materiais presentes na composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de Palmas – TO, apenas os componentes referentes a papel e papelão (componente A) e a matéria orgânica (componente C) são utilizados para o cálculo do carbono orgânico degradável. A não adoção dos outros componentes, dá-se pela falta de representatividade perante aos critérios específicos, estabelecidos pelo método de estimativa desenvolvido pelo IPCC, resultando na modelagem matemática da Equação 4.3 a seguir:

$$COD = (0,4 \times 8,59\%) + (0,15 \times 38,24\%) \quad (4.3)$$

$$COD = 0,03436 + 0,05736$$

$$COD = 0,09172 \text{ ton de C / ton de resíduo}$$

6.5.2.2 Cálculo da fração do carbono orgânico degradável dissociada (CODf)

O cálculo da fração do carbono degradável dissociada é realizado em função da temperatura dos resíduos degradados na zona anaeróbia do maciço, comumente adotada como sendo 35°C (BIRGEMER e CRUTZEN, 1987). Devido a impossibilidade da aferição da temperatura no maciço de resíduos estudado, o valor considerado para o cálculo, foi da temperatura de 35°C, conforme descrito na literatura estudada e representado pela modelagem matemática da Equação 4.4 a seguir:

$$CODf = 0,014T + 0,28 \quad (4.4)$$

$$CODf = 0,014 \times 35 + 0,28$$

$$COD_f = 0,77$$

6.5.2.3 Cálculo do potencial de geração de metano dos resíduos (L_0)

Para a modelagem matemática do cálculo do potencial de geração de metano dos resíduos (L_0), o fator de correção do metano (FCM) adotado foi de 1, valor este, adotado conforme a maneira adequada que os resíduos sólidos urbanos são dispostos no Aterro (IPCC, 2006). O FCM interfere diretamente na geração do metano, uma vez que, a qualidade do aterramento aplicada sobre os resíduos, condiciona a degradação assertiva e adequada dos resíduos ali dispostos.

A fração em volume de metano presente na mistura gasosa foi adotado como sendo 50%, um valor médio entre os definidos pela literatura, e adequado para a geração de biogás em Aterros Sanitários de regiões com temperatura atmosférica tropical (PETERSSON e WELLINGE, 2009), conforme descrito na literatura e apresentado pela modelagem matemática da Equação 4.2 a seguir:

$$L_0 = 1 \times 0,09172 \times 0,77 * 0,5 \times (4/3) \quad (4.2)$$

$$L_0 = 0,04708 \text{ ton de } CH_4 / \text{ ton de resíduo}$$

6.5.2.4 Cálculo da quantidade de metano gerado (CH_4)

Para efetuar o cálculo da quantidade de metano gerado em cada ano estudado, foi adotado a estimativa do crescimento populacional para o município de Palmas – TO, realizada pelo presente trabalho. Em adição, foi considerado que o Aterro Sanitário comece a receber os resíduos sólidos urbanos no ano de 2018, e tenha seu encerramento no ano de 2043, tendo em vista, uma vida útil de cerca de 25 anos, que também é o tempo estimado de vida útil remanescente do Aterro Sanitário de Palmas.

A adoção do ano de 2018 como sendo o ano de início da descarga de resíduos sólidos urbanos no Aterro Sanitário de Palmas – TO, deu-se pela falta de informações precisas acerca dos parâmetros necessários para a modelagem ambiental das emissões atmosféricas produzidas pelo Aterro Sanitário estudado, no início de sua operação, no dia 21 de novembro de 2001 (SEISP, 2009).

O valor referente a coleta e aproveitamento do metano (R) foi adotado como sendo zero, uma vez que o Aterro Sanitário de Palmas – TO, ainda não coleta ou realiza o aproveitamento do biogás gerado no Aterro. Em relação ao valor de oxidação do metano (OX), foi considerado como sendo 0,1, justificado pela eficiência do manejo e acomodação final dos RSU, empregado atualmente no Aterro Sanitário, em concordância com a literatura inerente a temática (INÁCIO, BETTIO e MILLER, 2010).

Dessa forma, de posse dos presentes dados, tornou-se possível a modelagem matemática da geração do biogás gerado pelo Aterro Sanitário de Palmas - TO, conforme demonstrado pela modelagem matemática da Equação 4.1 a seguir:

$$CH_4(2018) = (284305 * 1,071 * 1 * 0,04708 - 0) * (1 - 0,1) \quad (4.1)$$

$$CH_4(2018) = 12.901,87803 \text{ m}^3 \text{ de } CH_4 / \text{dia}$$

$$CH_4(2018) = 4.709.185,481 \text{ m}^3 \text{ de } CH_4 / \text{ano}$$

Para o cálculo total das gerações de metano em todo o período amostral, foi substituído a população estimada para o ano subsequente juntamente com a taxa de geração de resíduos sólidos urbanos, podendo assim, obter-se a estimativa da geração de metano em todos os 25 anos estudados, conforme demonstrado na Tabela 6.17.

Tabela 6.17: Valores de emissão de metano para o Aterro Sanitário de Palmas – TO.

PROJEÇÃO DA QUANTIDADE DE METANO GERADO			
Ano	Pop. estimada (hab.)	Q CH₄ gerado (m³/ ano)	Total gerado (m³)
2018	284.305	4.709.185,48	4.709.185,48
2019	292.490	4.889.996,46	9.599.181,94
2020	300.910	5.077.304,38	14.676.486,31
2021	309.142	5.264.015,50	19.940.501,81
2022	317.176	5.449.870,78	25.390.372,59
2023	325.009	5.634.726,33	31.025.098,92
2024	332.635	5.818.383,95	36.843.482,88
2025	340.051	6.000.694,66	42.844.177,54
2026	347.255	6.181.525,42	49.025.702,96
2027	354.245	6.360.741,95	55.386.444,91
2028	361.021	6.538.244,96	61.924.689,87
2029	367.582	6.713.916,91	68.638.606,78
2030	373.931	6.887.713,29	75.526.320,07
2031	380.067	7.059.517,16	82.585.837,23
2032	385.994	7.229.304,62	89.815.141,85
2033	391.714	7.397.016,47	97.212.158,32
2034	397.231	7.562.632,81	104.774.791,13
2035	402.547	7.726.097,85	112.500.888,98
2036	407.667	7.887.415,06	120.388.304,04
2037	412.593	8.046.532,51	128.434.836,55
2038	417.333	8.203.517,44	136.638.353,99
2039	421.889	8.358.323,19	144.996.677,18
2040	426.265	8.510.944,24	153.507.621,42
2041	430.468	8.661.437,92	162.169.059,34
2042	434.501	8.809.784,80	170.978.844,15
2043	438.325	8.955.109,22	179.933.953,37

Fonte: IBGE. Censo Demográfico 1991, 2000 e 2010; Projeção Populacional do PMSB de Palmas - TO; Modelagem matemática gerada pelo Software LandGEM.

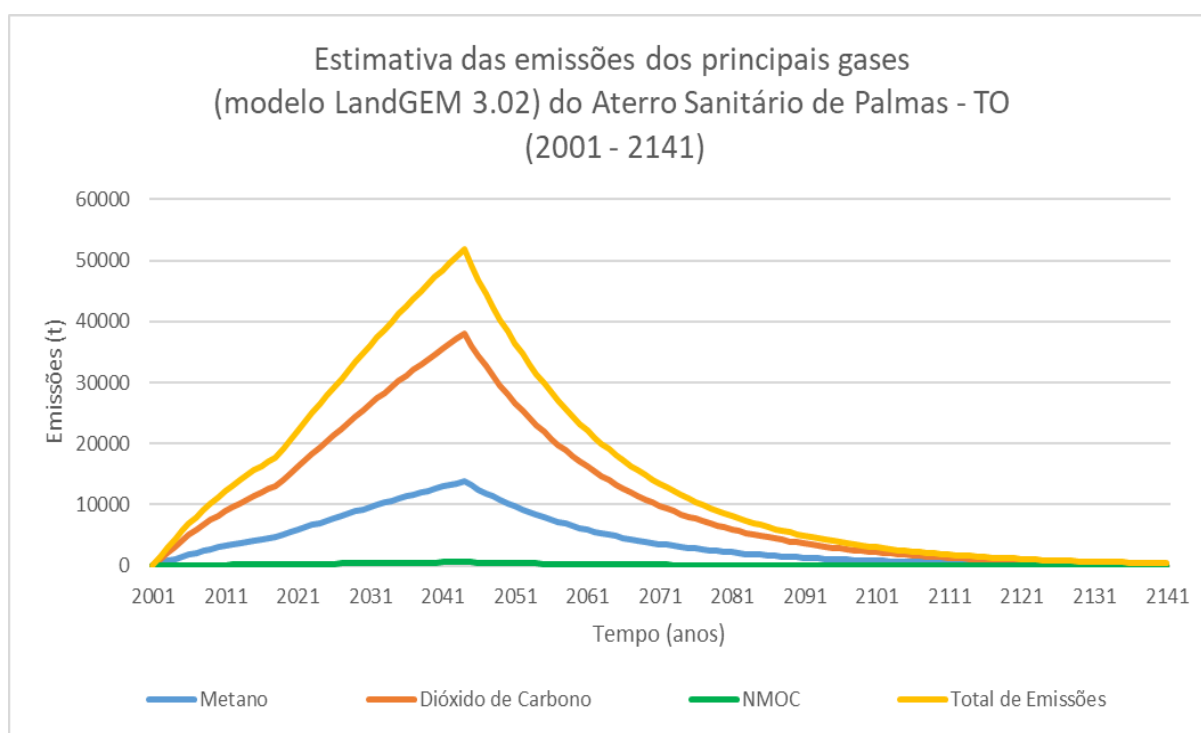
Os valores obtidos através da modelagem ambiental das emissões de biogás gerado em Aterros Sanitários, por meio do modelo LanGEM, demonstram os dados das emissões atmosféricas dos principais gases gerados pela decomposição anaeróbia da matéria orgânica confinada no interior do maciço de resíduos, dentre os quais, o metano, destaca-se como sendo o componente com o maior poder calorífico para ser aproveitado na geração de energia elétrica.

A Figura 6.17, demonstra o resultado da estimativa da geração dos principais gases presentes na mistura do biogás por meio da modelagem ambiental pelo software LandGEM. Os valores descritos no gráfico, representam a estimativa da geração de cada gás produzido pela

degradação da matéria orgânica confinada no interior do maciço de resíduos, podendo ser alterada de acordo com a operação cotidiana das rotinas de acomodação final da massa de resíduos nas células operantes no Aterro.

A rotina cotidiana de operação de um Aterro Sanitário, interfere diretamente na rentabilidade da produção de biogás no interior do maciço de resíduos, pois, rotinas inadequadas com uma má cobertura final e falta de compactação assertiva dos resíduos dispostos na célula do Aterro, aferem a massa de resíduos mais oxigênio, resultando assim no retardo da fase anaeróbia e conseqüentemente na diminuição da produção de metano gerado pelo maciço, gerando assim, outros gases com um poder energético/calorífico desprezíveis para a etapa de produção de potencial energético por meio de biogás de Aterros Sanitários (MACIEL, 2009).

Figura 6.17: Gráfico da estimativa das emissões dos principais gases (modelo LandGEM 3.02) do Aterro Sanitário de Palmas – TO (2001 – 2141).



Fonte: IBGE. Censo Demográfico 1991, 2000 e 2010; Projeção Populacional do PMSB de Palmas - TO; Modelagem matemática gerada pelo Software LandGEM.

Na falta de dados concretos acerca da quantidade de resíduos sólidos urbanos dispostos no Aterro Sanitário de Palmas – TO, desde o início de sua operação em meados do ano de 2001, foi considerado que o mesmo recebia cerca de 150 toneladas/dia de resíduos sólidos urbanos, conforme modelagem matemática da geração de RSU nos anos amostrais estudados, até o ano

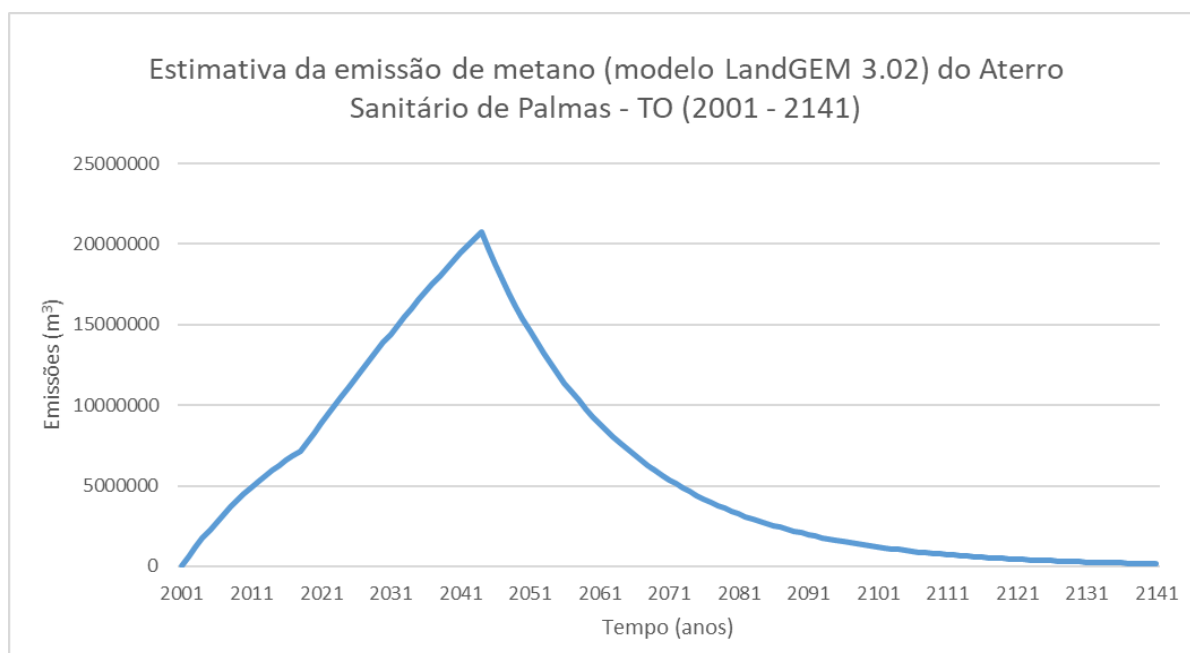
de 2018, ano este, que está sendo considerado como ano norteador para a estimativa do aproveitamento energético do biogás gerado pelo Aterro Sanitário em estudo.

De acordo com os dados apresentados pela Figura 6.17, a geração máxima de biogás produzida no Aterro se dá no ano de 2044, ano este, que representa o primeiro ano após encerramento da descarga da matéria orgânica na célula do Aterro, com uma produção de cerca de 13.834,08 toneladas de metano, 37.957,48 toneladas de dióxido de carbono, 594,62 toneladas de NMOG (compostos orgânicos não metálicos).

Ainda, de acordo com os dados apresentados pela Figura 6.17, no ano de 2141 a geração de emissões atmosféricas pelo Aterro Sanitário de Palmas – TO será ínfima, resultante da falta de nutrientes e matéria orgânica carbonácea disponível no interior do maciço de resíduos, para a reação dos microrganismos estabilizadores da matéria orgânica e das cepas metanogênicas.

A Figura 6.18, demonstra a estimativa da emissão de metano, obtida através da modelagem ambiental das emissões de biogás gerado em Aterros Sanitários por meio do modelo LandGEM. A produção de metano durante toda a vida útil de produção do Aterro, atinge cerca de 450.113.598,6 m³, onde, a partir daí a quantidade desse gás, produzido pelo Aterro, começa a diminuir devido a indisponibilização da matéria orgânica confinada no interior do maciço de resíduos, disponível para o processo de metanogênese.

Figura 6.18: Estimativa da emissão de metano (modelo LandGEM 3.02) do Aterro Sanitário de Palmas – TO (2001 – 2141).



Fonte: IBGE. Censo Demográfico 1991, 2000 e 2010; Projeção Populacional do PMSB de Palmas - TO; Modelagem matemática gerada pelo Software LandGEM.

6.5.3 Equivalência energética do biogás gerado no Aterro Sanitário de Palmas

Para a modelagem matemática da equivalência energética do biogás gerado no Aterro Sanitário de Palmas – TO, foram utilizados os dados referentes ao motogerador LANDSET, que segundo informações do fabricante, possui uma eficiência de conversão elétrica de 28%, gerando uma potência de 200 kW em cada módulo operante a ser instalado (BRASMETANO, 2018).

O poder calorífico do biogás pode variar de acordo com a sua composição; quantidade de impurezas presente na massa gasosa; resultando em um gás com alto ou baixo potencial de geração de energia, condicionado pelo seu nível de pureza. O poder calorífico do biogás, quando a concentração de metano é superior a 50% da mistura gasosa, pode alcançar a 4.613 kcal/m³, se os níveis de dióxido de carbono e outros contaminantes presentes na mistura gasosa forem eliminados nas etapas de purificação do biogás (PRICE e CHEREMISINOFF, 1981).

Dessa forma, por meio da Equação 6.1, tornou-se possível a obtenção da vazão necessária para o abastecimento de um motogerador a ser instalado no Aterro.

$$Pot = (Q \times PCI \times n) / 860 \quad (\text{Equação 6.1})$$

Onde:

Pot = potência gerada [W];

Q = vazão de biogás em [m³/h];

PCI = poder calorífico do biogás [kcal/m³];

n = eficiência elétrica do motor;

860 = conversão de kcal para kW.

Dessa forma, substituindo os valores encontrados por meio da modelagem matemática da estimativa da geração de biogás para o Aterro Sanitário de Palmas, em conjunto com os dados fornecidos por meio da literatura técnica específica, inerente a temática, temos a modelagem matemática da Equação 6.1 a seguir:

$$Pot = (Q \times PCI \times n) / 860$$

$$200 \text{ kW} = (Q \times 4.613 \text{ kcal/m}^3 \times 0,28) / 860$$

$$Q = 133,16 \text{ m}^3/\text{h}$$

Assim, a partir do cálculo da potência gerada pelo motogerador, tornou-se possível obter a vazão mínima de aproximadamente 134 m³/h, para abastecer um motogerador com potência de 200 kW.

Segundo Figueiredo (2007), a eficiência da coleta do biogás é de aproximadamente 75%. Entretanto, a maioria dos cálculos de equivalência energética para biogás de Aterros Sanitários, consideram que 100% (cem por cento) do biogás coletado é direcionado para o sistema de distribuição, tratamento e aproveitamento energético, sendo assim, impossível de considerar-se uma alta eficiência devido as perdas inerentes ao processo.

Dessa forma, através da vazão anual do biogás gerado no Aterro Sanitário de Palmas, foi considerado uma vazão de biogás disponível no sistema de tratamento do biogás, por meio dos cálculos da estimativa da geração do biogás pelo modelo LandGEM, com uma eficiência de coleta de 75% (setenta e cinco por cento), conforme demonstrado na Tabela 6.18.

Tabela 6.18: Valores da vazão do biogás para o Aterro Sanitário de Palmas – TO gerada pelo software LandGEM 3.02, com uma eficiência de coleta de 75%.

Ano	Vazão biogás (m³/ano)	Vazão biogás (m³/hora)	Vazão biogás (m³/hora) (75%)
2001	2.275.127,67	259,72	194,79
2002	2.275.127,67	259,72	194,79
2003	2.275.127,67	259,72	194,79
2004	2.275.127,67	259,72	194,79
2005	2.275.127,67	259,72	194,79
2006	2.275.127,67	259,72	194,79
2007	2.275.127,67	259,72	194,79
2008	2.275.127,67	259,72	194,79
2009	2.275.127,67	259,72	194,79
2010	3.782.057,08	431,74	323,81
2011	3.782.057,08	431,74	323,81
2012	3.971.829,12	453,41	340,05
2013	4.086.169,38	466,46	349,84
2014	4.203.789,28	479,88	359,91
2015	4.324.821,33	493,70	370,28
2016	4.449.315,23	507,91	380,93
2017	4.577.403,49	522,53	391,90
2018	4.709.185,48	537,58	403,18
2019	4.889.996,46	558,22	418,66
2020	5.077.304,38	579,60	434,70
2021	5.264.015,50	600,92	450,69
2022	5.449.870,78	622,13	466,60
2023	5.634.726,33	643,23	482,43
2024	5.818.383,95	664,20	498,15
2025	6.000.694,66	685,01	513,76
2026	6.181.525,42	705,65	529,24
2027	6.360.741,95	726,11	544,58
2028	6.538.244,96	746,37	559,78
2029	6.713.916,91	766,43	574,82
2030	6.887.713,29	786,27	589,70
2031	7.059.517,16	805,88	604,41
2032	7.229.304,62	825,26	618,95
2033	7.397.016,47	844,41	633,31
2034	7.562.632,81	863,31	647,49
2035	7.726.097,85	881,97	661,48
2036	7.887.415,06	900,39	675,29
2037	8.046.532,51	918,55	688,92
2038	8.203.517,44	936,47	702,36
2039	8.358.323,19	954,15	715,61
2040	8.510.944,24	971,57	728,68
2041	8.661.437,92	988,75	741,56

2042	8.809.784,80	1.005,68	754,26
2043	8.955.109,22	1.022,27	766,70

Fonte: IBGE. Censo Demográfico 1991, 2000 e 2010; Projeção Populacional do PMSB de Palmas - TO; Modelagem matemática gerada pelo Software LandGEM, com uma redução de 75% na vazão produzida de biogás.

Os dados apresentados pela Tabela 6.18, demonstram a vazão disponível com 75% (setenta e cinco por cento) de eficiência de captação, por meio da modelagem matemática gerada pelo modelo disponibilizado pelo IPCC (2001), dessa forma, de acordo com os dados obtidos por meio da Equação 6.1, já existe vazão suficiente para alimentação de três conjuntos motogeradores LANDSET.

O funcionamento do conjunto motogerador LANDSET, proporciona a geração de 200 kw de energia elétrica, se o conjunto operar de forma ininterrupta em todo mês, sendo possível gerar 432 MW de energia elétrica mensais com a produção atual de biogás gerado pelo Aterro Sanitário de Palmas - TO, conforme demonstrado pela modelagem matemática da Equação 6.3 a seguir:

$$\text{Energia Gerada} = (200 \text{ kW} \times 24\text{h} \times 30\text{d}) \times 3 \text{ conjuntos geradores} \quad (\text{Equação 6.3})$$

$$\text{Energia Gerada} = 432 \text{ MW}$$

Segundo dados disponibilizados pelo último Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2017 – ano base 2016, da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), o consumo médio mensal de energia elétrica domiciliar no Brasil foi de 132,872 kWh. Assim, com base nos valores de energia elétrica a ser gerada pelo Aterro Sanitário de Palmas, torna-se possível abastecer cerca de 3251 residências, com a geração de biogás atual no Aterro, conforme demonstrado pela modelagem matemática a seguir:

$$\text{Abastecimento Energético} = \text{Potência Gerada pelo Aterro} / \text{Potência Requerida pelos domicílios}$$

$$\text{Abastecimento Energético} = 432 \text{ MW} / 132,872 \text{ KWh}$$

$$\text{Abastecimento Energético} = 3251 \text{ residências}$$

Assim, por meio do método de estimativa disponibilizado pelo IPCC (2001), conclui-se que o município de Palmas – TO, possui uma grande geração de biogás em seu Aterro Sanitário, levando em consideração o descarte de resíduos nas células do sistema estudado,

podendo gerar no ano de 2043 cerca de 233.587.544,39 m³ de biogás até o último ano de descarga de resíduos no Aterro, conforme considerado na execução do presente estudo e compatível com os dados apresentado por Coelho & Oliveira (2012) em sua experimentação.

Porém, a estimativa do potencial de geração do metano, produzido no Aterro Sanitário de Palmas, pode ser elevado conforme o município adote práticas sustentáveis de destinação final de seus resíduos sólidos urbanos, destinando ao Aterro apenas os materiais que não possuem nenhuma outra forma de aproveitamento ambiental de suas estruturas.

Assim, materiais como plásticos, vidros, metais e outros derivados de petróleo, não seriam destinados ao Aterro, aumentando assim, a pureza da parte orgânica dos resíduos ricos em fonte de carbono, fator esse essencial para a geração de metano proveniente da degradação anaeróbia da matéria orgânica confinada no maciço de resíduos.

Atualmente, estão instalados no Aterro Sanitário de Palmas – TO, cerca de 37 coletores de biogás prontos para serem acoplados no sistema de captação do biogás gerado no local, transmitindo assim, na real viabilidade técnica do aproveitamento ambiental e energético do biogás gerado pelo Aterro em estudo.

6.6 Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos - IQR

Ao longo das visitas técnicas realizadas na área de disposição final dos resíduos sólidos urbanos do município de Palmas – TO, foram coletadas e analisadas informações acerca da destinação final e rotinas administrativas na área de interferência direta do Aterro Sanitário de Palmas. Dessa forma, foram coletadas informações para a aferição do IQR conforme orientação da metodologia empregada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2018).

O aferimento dos diferentes indicadores adotados pelo IQR tem como intuito, verificar a conformidade ambiental da destinação final e ambientalmente adequada dos resíduos sólidos municipais no município estudado, gerando um relatório acerca das influências que cada infraestrutura técnica presente na área de influência direta do Aterro tem em relação ao resguardo da qualidade ambiental, social e da saúde pública da circunvizinhança do Aterro Sanitário.

Conforme a aplicação do questionário proposto pelo IQR, aplicado por meio de um “check list” das conformidades e não conformidades apresentadas no Aterro, tornou-se possível a verificação do estado de funcionamento real do Aterro Sanitário de Palmas, conforme demonstrado pelas Tabelas 6.19, 6.20, 6.21.

Tabela 6.19: Resultados da Planilha de cálculo do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR (Subtotal 1).

ÍTEM	SUB-ÍTEM	AValiação	PESO	PONTOS	
ESTRUTURA DE APOIO	1. PORTARIA, BALANÇA E VIGILÂNCIA	SIM / SUFICIENTE	2	2	
		NÃO / INSUFICIENTE	0		
	2. ISOLAMENTO FÍSICO	SIM / SUFICIENTE	2	2	
		NÃO / INSUFICIENTE	0		
	3. ISOLAMENTO VISUAL	SIM / SUFICIENTE	2	2	
		NÃO / INSUFICIENTE	0		
	4. ACESSO Á FRENTE DE DESCARGAS	ADEQUADO	3	3	
		INADEQUADO	0		
FRENTE DE TRABALHO	5. DIMENSÕES DA FRENTE DE TRABALHO	ADEQUADOS	5	5	
		INADEQUADAS	0		
	6. COMPACTAÇÃO DOS RESÍDUOS	ADEQUADA	5	5	
		INADEQUADAS	0		
	7. RECOBRIMENTO DOS RESÍDUOS	ADEQUADO	5	5	
		INADEQUADO	0		
TALUDES E BERMAS	8. DIMENSÕES E INCLINAÇÕES	ADEQUADAS	4	4	
		INADEQUADAS	0		
	9. COBERTURA DE TERRA	ADEQUADA	4	4	
		INADEQUADAS	0		
	10. PROTEÇÃO VEGETAL	ADEQUADA	3		
		INADEQUADAS	0	0	
	11. AFLORAMENTO DE CHORUME	NÃO / RAROS	4	4	
		SIM / NUMEROSOS	0		
	SUPERFÍCIE SUPERIOR	12. NIVELAMENTO DA SUPERFÍCIE	ADEQUADO	5	5
			INADEQUADO	0	
13. HOMOGENEIDADE DA COBERTURA		SIM	5	5	
	NÃO	0			
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL	14. IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	SIM /ADEQUADA (NÃO PREENCHER ITEM 15)	10	10	
		NÃO INADEQUADA (NÃO PREENCHER ITEM 15)	0		
	15. PROFUNDIDADE LENÇOL FREÁTICO (P) X PERMEABILIDADE DO SOLO (k)	P > 3 m, k < 10-6 cm/s	4	4	
		1 <= P <= 3, k < 10-6 cm/s	2		
		CONDIÇÃO INADEQUADA	0		
	16. DRENAGEM DE CHORUME	SIM / SUFICIENTE	4	4	
NÃO / INSUFICIENTE		0			
SIM / ADEQUADO		4	4		

17. TRATAMENTO DE CHORUME	NÃO / INADEQUADO	0	
18. DRENAGEM PROVISÓRIA DE ÁGUAS PLUVIAIS	SUFICIENTE / DESNEC.	3	3
	NÃO / INSUFICIENTE	0	
19. DRENAGEM DEFINITVA DE ÁGUAS PLUVIAIS	SUFICIENTE / DESNEC.	4	4
	NÃO / INSUF.	0	
20. DRENAGEM DE GASES	SUFICIENTE / DESNEC.	4	4
	NÃO / INSUFICIENTE	0	
21. MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	ADEQUADO	4	
	INADEQUADO / INSUF.	1	1
	INEXISTENTE	0	
22. MONITORAMENTO GEOTÉCNICO	ADEQUADO / DESNEC.	4	
	INADEQUADO / INSUFIC.	1	1
	INEXISTENTE	0	
SUBTOTAL 1		86	81

Fonte: CETESB (2018); Visitas técnicas realizadas pelo autor durante a execução do presente estudo (MARQUES, 2018).

A Planilha de cálculo do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR (Subtotal 1), afere os indicadores relativos a infraestrutura técnica e operacional presente na área do Aterro, como os sistemas de controle ambiental das emissões líquidas, gasosas e visuais geradas pela utilização da área como Aterro; indicadores ambientais do sistema de controle e contenção da poluição gerada pela degradação da matéria orgânica confinada no interior do maciço de resíduos; além das infraestruturas técnicas de apoio, necessárias para o bom funcionamento das rotinas operacionais e administrativas na área do Aterro Sanitário de Palmas – TO.

Após a verificação dos indicadores, foi possível comprovar um dos impactos negativos gerados pela falta de cobertura vegetal nas células já encerradas do Aterro, ocasionando riscos de deslizamento dos taludes, pois a força que está sendo exercida pela massa de resíduos pode ocasionar na ruptura das estruturas e solo, gerando instabilidade, quando o maciço não possui uma cobertura final de resguardo de seus resíduos internos/confinados.

Dessa forma, os taludes do Aterro encontram-se descobertos e sem nenhuma proteção vegetal, o que aumenta o risco de instabilidade da massa de resíduos devido a possíveis deslizamentos ocasionados por eventos naturais ou antrópicos.

Tabela 6.20: Resultados da Planilha de cálculo do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR (Subtotal 2.1).

<i>ÍTEM</i>	<i>SUB-ÍTEM</i>	<i>AVALIAÇÃO</i>	<i>PESO</i>	<i>PONTOS</i>	
OUTRAS INFORMAÇÕES	23. PRESENÇA DE CATADORES	NÃO	2	2	
		SIM	0		
	24. QUEIMA DE RESÍDUOS	NÃO	2	2	
		SIM	0		
	25. OCORRÊNCIA DE MOSCAS E ODORES	NÃO	2		
		SIM	0	0	
	26. PRESENÇA DE AVES E ANIMAIS	NÃO	2	2	
		SIM	0		
	27. RECEBIMENTO DE RESÍDUOS NÃO AUTORIZADOS	NÃO	2	2	
		SIM	0		
	28. RECEBIMENTOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	SIM (PREENCHER ITEM 29)			
		NÃO (IR PARA ITEM 30)			
	29. ESTRUTURAS E PROCEDIMENTOS	SUFICIENTE / ADEQUAD	10	0	
		INSUFICIENTE / INADEQ	0		
SUB-TOTAL 2.1		10	8		

Fonte: CETESB (2018); Visitas técnicas realizadas pelo autor durante a execução do presente estudo (MARQUES, 2018).

A Planilha de cálculo do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR (Subtotal 2.1), afere os indicadores relativos a operação diária do Aterro, como as rotinas de disposição e acomodação final dos resíduos nas células do Aterro; indicadores ambientais de funcionamento do empreendimento; além das infraestruturas técnicas necessárias para o bom funcionamento das rotinas operacionais e administrativas na área do Aterro Sanitário de Palmas – TO.

Após a verificação dos indicadores, foi possível comprovar apenas uma falha no que se diz respeito aos indicadores ambientais para o monitoramento e controle do funcionamento do Aterro, pois, há uma presença significativa de vetores como moscas, o que indica que há demora considerável quanto a cobertura dos resíduos (MEDEIROS, et al., 2009).

O recomendado é que após cada jornada de serviço da destinação dos resíduos na célula do Aterro, os mesmos sejam espalhados, compactados e devidamente recobertos com uma camada de solo ou RCC's, evitando assim a proliferação de vetores devido a propagação de odores provenientes da degradação da matéria orgânica presente na massa de resíduos (MARQUES, 2016).

Tabela 6.21: Resultados da Planilha de cálculo do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR (Subtotal 3).

ÍTEM	SUB-ÍTEM	AValiação	PESO	PONTOS	
CARACTERÍSTICAS DA ÁREA	30. PROXIMIDADES DE NÚCLEOS HABITACIONAIS	>= 500m	2	2	
		< 500m	0		
	31. PROXIMIDADES DE CORPOS DE ÁGUA	>= 200m	2	2	
		< 200m	0		
	32. VIDA ÚTIL DA ÁREA	<= 2 ANOS			
		2 < x <= 5 ANOS			
		> 5 ANOS			X
	33. RESTRIÇÕES LEGAIS AO USO DO SOLO	SIM			
		NÃO			X
	SUB-TOTAL 3			4	4

Fonte: CETESB (2018); Visitas técnicas realizadas pelo autor durante a execução do presente estudo (MARQUES, 2018).

A Planilha de cálculo do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR (Subtotal 3), afere os indicadores relativos a distância do empreendimento a núcleos urbanos; proximidades da célula do aterro aos recursos hídricos superficiais; vida útil da área e restrições quanto a operação diária do Aterro Sanitário de Palmas – TO.

Assim, após a verificação de todos os indicadores utilizados para a verificação do IQR é realizado o cálculo do índice por meio da modelagem matemática a seguir:

$$IQR = (SubTotal 1 + SubTotal 2 + SubTotal 3) / 10 \quad (\text{Equação 6.5})$$

$$IQR = (81 + 8 + 4) / 10$$

$$IQR = 9,3$$

Com base no resultado da aferição do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR, o Aterro Sanitário de Palmas – TO encontrasse em condições adequadas, apresentando um somatório dos itens verificados pelo índice de 9,3 pontos.

Entretanto, vale ressaltar que a metodologia desenvolvida pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo só considera que o item analisado está em concordância ou não com a legislação ambiental vigente inerente a temática, não considerando os itens que estão em concordância parcial (CETESB, 2018).

Até o presente momento, não houveram estudos científicos realizados acerca da aplicação do IQR no Aterro Sanitário de Palmas, inviabilizando assim, comparações entre o avanço da conformidade ambiental no Aterro no decorrer dos anos de sua operação.

Porém, Marinho e Oliveira (2013), utilizaram o Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos – IQA (FARIA, 2002), adaptado do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR (CETESB, 1998), para aferição da classificação do Aterro Sanitário de Palmas – TO, chegando a conclusão que o mesmo era classificado como inadequado, pela aferição do IQA.

Entretanto, não se pode afirmar que o Aterro Sanitário de Palmas – TO obteve um avanço em suas rotinas de operação e disposição final dos RSU do município, uma vez que os dois índices são distintos, na forma de aferição de seus indicadores, e apenas o IQR disponibilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo está de acordo com as novas diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010; CETESB, 2018).

São inúmeros os métodos de verificação quanto a conformidade ou não de uma área de disposição final de RSU, porém, com a promulgação da PNRS (BRASIL, 2010a), grande parte desses métodos ficaram obtusos, devido a faixa aceitável de conformidade ambiental, o que não é mais permitida após a promulgação da Lei 12305/2010, onde, as áreas de disposição final de RSU são classificadas como adequadas, dispendo seus RSU em Aterros sanitários, e áreas inadequadas, dispendo seus RSU em lixões e/ou Aterros controlados (BRASIL, 2010b).

Em relação aos estudos acerca da classificação do Aterro Sanitário de Palmas – TO conforme o IQA, versão adaptada do IQR, temos a classificação realizada conforme a experimentação de Andrade, Serra e Andrade (2013), onde, por meio da execução de seu estudo, classifica a área de disposição final dos RSU do município de Palmas – TO como Aterro com condições controladas, não atendendo assim, a classificação imposta pela PNRS e legislações afins vigorantes (BRASIL, 2010b).

Em síntese, pelo desempenho do presente estudo, vale destacar a importância da cobertura final nas células do Aterro, cobertura essa, composta por vegetação gramínea, evitando assim na perda de solo da cobertura de encerramento do maciço de resíduos ocasionada pela deflação, deixando a camada superficial do Aterro descoberta, proporcionando assim inúmeros problemas relacionados à falta dessa cobertura de encerramento do Aterro Sanitário de Palmas, Tocantins.

Assim, a realização de novos estudos referentes ao monitoramento ambiental e estudos de conformidade ambiental do Aterro Sanitário de Palmas deverão ser realizados, com o intuito de acompanhar o avanço das ações de combate e controle ambiental das poluições geradas pelo uso da área como Aterro Sanitário, obtendo-se assim, uma mensuração assertiva dos possíveis impactos ambientais causados ao meio ambiente local, pela adoção da área como Aterro Sanitário.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo, apresenta as conclusões obtidas acerca da investigação realizada, considerando as metas propostas no início do trabalho. Também serão apresentadas algumas recomendações a trabalhos futuros.

7.1 Qualidade ambiental do Aterro Sanitário de Palmas - TO

Com a execução do presente estudo, pode-se comprovar a eficiência do sistema de contenção da poluição/contaminação instalado nas infraestruturas físicas do Aterro Sanitário de Palmas – TO, uma vez que, todos os estudos realizados acerca da qualidade ambiental das águas do lençol freático e superficiais, não possuem poluição/contaminação decorrentes do uso atual da área como Aterro Sanitário.

O sistema de tratamento de líquidos e percolados, também se mostrou eficiente no quesito da diminuição da concentração de alguns poluentes/contaminantes do efluente bruto, como bário total, cobre total, cromo total e níquel total, mostrando-se eficiente no tocante a retenção da concentração da carga poluidora, pelo sistema de tratamento de líquidos e percolados instalado no Aterro.

7.2 Estudo da produção e aproveitamento energético do biogás gerado no Aterro Sanitário de Palmas - TO

A partir da modelagem ambiental do método de estimativa de geração de biogás para Aterros de Resíduos Sólidos, disponibilizado pelo IPCC (2001), pode-se concluir que o município de Palmas – TO, possui uma considerável geração de biogás em seu Aterro Sanitário, conforme demonstrado pelo presente estudo.

A viabilidade de instalação de um sistema de coleta e transporte dos gases produzidos pelo Aterro Sanitário de Palmas – TO é reafirmada pela presença de cerca de 37 coletores de biogás prontos para serem acoplados no sistema de captação do biogás gerado no Aterro.

Assim, conforme a modelagem da produção de biogás e a sua subsequente conversão em energia elétrica, com a geração atual de biogás do Aterro Sanitário de Palmas – TO, torna-se possível abastecer cerca de 3.251 residências com a produção atual de biogás gerado pelo

Aterro, conforme demonstrado pela execução do presente trabalho, transmitindo assim, na real viabilidade do aproveitamento energético do biogás gerado pelo Aterro Sanitário de Palmas – TO.

7.3 Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR

Com base no resultado da aferição do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR, o Aterro Sanitário de Palmas – TO encontra-se em condições adequadas, apresentando um somatório dos itens verificados com um índice de 9,3 pontos refletindo em suas condições adequadas de acomodação final dos resíduos sólidos urbanos do município de Palmas – TO.

7.4 Recomendações a trabalhos futuros

As sugestões a seguir, seguem para a continuidade e aprimoramento do presente estudo acerca do Monitoramento ambiental e estudo de viabilidade técnica do aproveitamento energético do biogás gerado no Aterro Sanitário de Palmas – TO:

- Continuar o monitoramento ambiental do lençol freático e das águas superficiais na área de interferência direta do maciço de resíduos para verificar as possíveis alterações da qualidade ambiental em diferentes períodos do ano;
- Investigar e caracterizar precisamente a composição físico-química dos resíduos dispostos na célula do Aterro para se obter uma modelagem ambiental das emissões atmosféricas do Aterro mais condizentes com a realidade atual da acomodação final dos resíduos sólidos urbanos no Aterro Sanitário de Palmas – TO;
- Aferir quantitativamente a produção de biogás gerado pelo Aterro Sanitário de Palmas – TO;
- Aferir a qualidade e as características físico-químicas do biogás gerado pelo Aterro Sanitário de Palmas – TO;
- Investigar o processo de purificação do biogás proveniente das células do Aterro Sanitário de Palmas - TO visando seu aproveitamento energético;

- Avaliar alternativas de geração de energia elétrica a partir do biogás gerado pelo Aterro Sanitário de Palmas – TO;
- Estimar a quantidade de energia produzida pelo biogás através da cogeração.

REFERÊNCIAS

ABAD, P. M. **Valorização de resíduos agro-industriais por processos de digestão anaeróbia**. Coimbra: DISSERTAÇÃO (Mestrado Integrado em Engenharia Química) - Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Química, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/313843035_Valorizacao_de_residuos_agro-industriais_por_processos_de_digestao_anaerobia>. Acesso em: 28 mar 2018.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: NBR-8419**, Rio de Janeiro, p. 7, abr 1992.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Material particulado em suspensão na atmosfera - Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas: NBR 13412**. p. 8, jun 1995.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Construção de poços de monitoramento e amostragem: NBR 13895**, p. 21, jun 1997a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Aterros de resíduos não perigosos – critério de projeto, implantação e operação – Procedimento: NBR-13896**, p. 12, jun 1997b.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume: NBR 9547**. p. 14, set 1997c.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos – Apresentação: NBR-10004**, p. 71, mai 2004a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostragem de resíduos sólidos: NBR 10007**, p. 25, nov 2004b.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento - Métodos de purga: NBR 15847**, p. 15, jun 2010.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gás natural — Determinação da composição química por cromatografia em fase gasosa: NBR 14903:2014**. p. 39, mar 2014.

ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015**, 2016. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm>. Acesso em: 01 Novembro 2016.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS**, 2018. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 26 nov 2018.

AGEITEC. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Brasília: EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn102wx5e00sawqe3qf9d0sy.html>>. Acesso em: 19 jun 2018.

AGÊNCIA BRASIL. Governo federal defende prorrogação do prazo da lei que acaba com os lixões, 2016. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-02/governo-federal-espera-pela-prorrogacao-do-prazo-da-lei-que-acaba-com-os>>. Acesso em: 8 dez 2016.

ALVES, J. W. S. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos**. São Paulo: Dissertação (Mestrado em Energia), Universidade de São Paulo, 2000. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-09032012-090952/pt-br.php>>. Acesso em: 15 mar 2018.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos**, p. 327, 2011.

ANDRADE, T. C. C.; SERRA, J. C. V.; ANDRADE, A. B. D. APLICAÇÃO DE UMA FERRAMENTA DE GESTÃO AMBIENTAL DE QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. **REVISTA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS - RCA**, Canoas, v. 7, n. 2, 2013. ISSN 1981-8858. Disponível em: <<https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/download/1292/1011>>. Acesso em: 17 set 2018.

ANDREOLI, C. V. et al. Secagem e Higienização de Lodos com Aproveitamento de Biogás. In: CASSINI, S. T. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Vitória: ABES, 2003. p. 121-165. Disponível em: <<https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabStulio.pdf>>. Acesso em: 15 mar 2018.

APHA. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20 ed. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, Washington, 1998.

AUGENSTEIN, D.; PACEY, J. Modelling landfill methane generation. **Proceedings of the Third International Landfill Symposium**, Sardenha, v. 1, p. 115 - 148, 1991.

BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://goo.gl/R31mxn>>. Acesso em: 01 Novembro 2016.

BARROS, R. M. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

BARROS, R. M.; FILHO, G. L. T.; SILVA, T. R. D. The electric energy potential of landfill biogas in Brazil. **Energy Policy**, v. 65, p. 150 - 164, february 2014.

BIDONE, F. R.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999. 120 p.

BIRGEMER, H. G.; CRUTZEN, P. J. The production of metano from solid waste. **Journal of geophysical research**, Malden, v. 92, n. 2, p. 2181 - 2187, 1987. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/JD092iD02p02181>>. Acesso em: 27 jul 2018.

BORBA, S. M. **Análises de modelos de geração de gases em aterros sanitários**: estudos de caso. Rio de Janeiro: Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

BOURN, M. et al. Regulating landfills using measured methane emissions: An English perspective. **Waste Management**, junho 2018.

BRAGA, B. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRAND, U. et al. Methane Hydrate: Killer cause of Earth's greatest mass extinction. **Palaeoworld**, v. 25, n. 4, p. 496-507, dezembro 2016.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **LEI Nº 6.938**, 31 ago 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 25 fev 2018.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Constituição da República Federativa do Brasil**, Brasília - DF, p. 292, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 23 dez 2017.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **DECRETO LEI Nº 99.274**, 06 jun 1990. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D99274.htm>. Acesso em: 25 fev 2018.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **LEI Nº 8.666**, 21 jun 1993. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8666cons.htm>. Acesso em: 25 fev 2018.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **LEI Nº 9.605**, 12 fev 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCivil_03/leis/L9605.htm>. Acesso em: 25 fev 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357**, 17 mar 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 08 fev 2018.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **LEI Nº 11.445**, 5 jan 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 24 fev 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 396**, 03 abril 2008. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>>. Acesso em: 08 fev 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **INDICADORES DE QUALIDADE - ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA)**, 2009a. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 11 fev 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 420**, 28 dez 2009b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 09 fev 2018.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **LEI Nº 9.433**, 08 jan 2009c. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 11 fev 2018.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **DECRETO Nº 7.217**, 21 jun 2010a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm>. Acesso em: 2018 fev 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Lei 12.305, Política Nacional de Resíduos Sólidos**, 02 Agosto 2010b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 01 Novembro 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 430**, 13 mai 2011a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 11 fev 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria n.º 2.914**, 12 dez 2011b. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/kit_arsesp_portaria2914.pdf>. Acesso em: 08 2018 fev.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 430**, 28 dez 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=702>>. Acesso em: 08 fev 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário**, 2016. Disponível em: <<http://mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>. Acesso em: 09 fev 2018.

BRASMETANO. BRASMETANO (Bioenergia + Sustentabilidade). **Motogeradores a Biogás**, 2018. Disponível em: <http://www.brasmetano.com.br/equipamentos/geradores_energina_biogas.php?lang=ptbr>. Acesso em: 31 out 2018.

BRITO FILHO, L. F. **Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.getres.ufrj.br/pdf/FILHO_LFB_05_t_M_int.pdf>. Acesso em: 15 mar 2018.

CAMPOS, A. E. L. et al. Avaliação da contaminação do Igarapé do Sabino (Bacia do Rio Tibiri) por metais pesados, originados dos resíduos e efluentes do Aterro da Ribeira, em São Luís, Maranhão. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 960 - 964, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n4/v32n4a25.pdf>>. Acesso em: 19 jun 2018.

CARREAS, N. **O Biogás**. [S.l.]: Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e o Caribe (ONUDI): Programa de Capacitação em Energias Renováveis, 2011.

CARREAS, N. **O Biogás**. Milão: Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e o Caribe (ONUDI): Programa de Capacitação em Energias Renováveis, 2013.

CARVALHO, A. D. P. et al. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE ARAGUATINS – TO. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 4, p. 067-079, jan/jun 2007. ISSN 1.

CATAPRETA, C. A. A.; SIMÕES, G. F. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. In: VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. **MONITORAMENTO AMBIENTAL E GEOTÉCNICO DE ATERROS SANITÁRIOS**, Campina Grande, v. 1, p. 8, nov 2016. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/III-081.pdf>>. Acesso em: 12 fev 2018.

CELERE, M. S. et al. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, esua relevância para saúde pública. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 939 - 947, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csp/v23n4/20.pdf>>. Acesso em: 19 jun 2018.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Inventário Nacional de emissões de Metano pelo Manejo de Resíduos**, 1998. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/1998/10/16/inventario-nacional-de-emissoes-de-metano-pelo-manejo-de-residuos/>>. Acesso em: 28 mar 2018.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**, 2001a. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/>>. Acesso em: 11 fev 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**, 2001b. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/>>. Acesso em: 11 fev 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos - 2017**, 2018. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/wp-content/uploads/sites/26/2018/06/inventario-residuos-solidos-urbanos-2017.pdf>>. Acesso em: 22 jun 2018.

CHERNICHARO, C. A. L. . B. A. M. . M. L. C. P. . D. A. M. A. Desenvolvimento de um respirômetro automatizado para avaliação da atividade microbiana. **Revista de Engenharia Sanitária**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 3 - 4, p. 120 - 126, 1997.

CHERNICHARO, C. A. L. . C. R. S. . Z. A. M. . S. M. . B. L. H. Post – treatment of anaerobic effluents in an overland flow system. **Water Science and Technology**, v. 44, n. 4, p. 229 - 236, 2001. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11579922>>. Acesso em: 18 mar 2018.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Reatores Anaeróbios**. 1. ed. Belo Horizonte: Segrac, v. 5, 1997. 246 p.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380 p. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.

CHRISTENSEN, T. H.; KJELDSEN, P. Basic biochemical processes in landfills. In: CHRISTENSEN, T. H.; COSSU, R.; STEGMANN, R. **Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact**. Londres: Academic Press, 1989. Cap. 2.1, p. 29. Disponível em: <http://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Basic+biochemical+processes+in+landfills+Sanitary+Landfilling:+Process,+Technology+and+Environmental+Impact+Academic+Press&author=CHRISTENSEN+T.H.CHRISTENSEN+T.H.&author=KJELDSEN+P.COSSU+R.&author=STEGMANN+R>. Acesso em: 12 fev 2018.

COELHO, T. C.; OLIVEIRA, R. M. S. D. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO TEÓRICA DO METANO GERADO NO ATERRO SANITÁRIO DE PALMAS-TO. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 1, p. 177 - 189, jan / mar 2012.

COIMBRA, R. M. Monitoramento da qualidade da Água.. In: BRANCO, S. M. . P. C. R. M. **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: USP/ABRH (Coleção ABRH de recursos hídricos), v. 3, 1991. p. 392-411.

COSTA, D. F. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. São Paulo: Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, 2006. 194 p. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/producao/2006/Teses/Dissertacao_David.pdf>. Acesso em: 15 mar 2018.

COSTA, T. J. S. D. **Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos de Portugal**. Lisboa: Dissertação (mestrado) - Universidade de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, 2015. 138 p. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1126295043834752/Dissertacao%20-%20versao%20final.pdf>>. Acesso em: 12 fev 2018.

COUTO, J. L. V. **Saneamento Rural**. [S.l.]: [s.n.], 2004. Disponível em: <<http://www.ufrj.br>>. Acesso em: 23 dez 2016.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 1. ed. São Paulo : CETESB, 1992.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 4. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

EGLER, M. **GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**. Rio de Janeiro: Tese (Doutorado em Planejamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/mariana_egler.pdf>. Acesso em: 13 jul 2018.

ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogas no aterro sanitario Delta em Campinas - SP**. Campinas: Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade de Campinas, 2003. 129 p. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/264904>>. Acesso em: 16 jun 2018.

EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 - ano base 2016. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>>. Acesso em: 31 jul 2018.

FARIA, F. D. S. **Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos Urbanos - IQA**. Rio de Janeiro: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <http://www.getres.ufrj.br/pdf/FARIA_FS_02_t_M_int.pdf>. Acesso em: 11 ago 2018.

FERNANDES, J. G. **Estudo da Emissão de Biogás em um Aterro Sanitário**. Belo Horizonte: Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2009. 116 p. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/516M.PDF>>. Acesso em: 12 fev 2018.

FERNANDES, J. G. **Estudo da Emissão de Biogás em um Aterro Sanitário Experimental**. Belo Horizonte: Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/516M.PDF>>. Acesso em: 18 mar 2018.

FIGUEIREDO, N. J. V. D. **UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS DE ATERRO SANITÁRIO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E ILUMINAÇÃO A GÁS – ESTUDO DE CASO**. São Paulo: Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica), Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2007. Disponível em: <<http://143.107.4.241/download/publicacoes/Natalie.pdf>>. Acesso em: 30 jul 2018.

GARCIA, L. P.; ZANETTI-RAMOS, B. G. Gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde: uma questão de biossegurança. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 20, n. 3, p. 744-752, 2004. ISSN 0102-311X.

GARG, A.; G., A.; JOSHI, R. C. A model to estimate the methane generation rate constant in sanitary landfills using fuzzy synthetic evaluation. **Waste management and Research**, Calgary, v. 24, p. 363 - 375, 2006. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16941995>>. Acesso em: 16 jun 2018.

GOULDING, D. . P. . Which is the preferable biogas utilisation technology for anaerobic digestion of agricultural crops in Ireland: Biogas to CHP or biomethane as a transport fuel? **Renewable Energy**, Cork, v. 53, p. 121-131, mai 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811200691X>>. Acesso em: 13 jun 2018.

GRANDE, C. A. Biogas Upgrading by Pressure Swing Adsorption. **Biofuel's Engineering Process Technology**, Oslo, p. 55 - 84, ago 2011. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/biofuel-s-engineering-process-technology/biogas-upgrading-by-pressure-swing-adsorption>>. Acesso em: 13 jun 2018.

HYPOLITO, R.; EZAKI, S. Íons de metais pesados em sistema solo-lixo-chorume-água de aterros sanitários da região metropolitana de São Paulo-SP. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 99-114, 2006.

IBAM. **Planos de resíduos sólidos: desafios e oportunidades no contexto da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro - RJ: Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2014. Disponível em: <http://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/publicacao_residuos_final.pdf>. Acesso em: 1 nov 2016.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, 2008. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?&t=resultados>>. Acesso em: 13 fev 2018.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Palmas - TO**, 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/palmas/panorama>>. Acesso em: 27 jul 2018.

INÁCIO, C. D. T.; BETTIO, D. B.; MILLER, P. R. M. **O papel da compostagem de resíduos orgânicos urbanos na mitigação de emissões de metano**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/882162/4/documentos127.pdf>>. Acesso em: 27 jul 2018.

IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reference Manual**. Genebra: International Panel on Climate Change, 2006. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: 16 jun 2018.

IPCC. **Mudança do Clima 2007: Mitigação da Mudança do Clima**. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Genebra, p. 42. 2007.

KALYUZHAYA, M. G.; COLLINS, D.; CHISTOSERDOVA, L. Microbial Cycling of Methane. **Reference Module in Life Sciences**, 2019.

KHANDEGAR, V.; SAROHA, A. K. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent – A review. **Journal of Environmental Management**, Amsterdã, v. 128, p. 949 - 963, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479713004465>>. Acesso em: 19 jun 2018.

KJELDSEN, P. et al. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, Londres, Inglaterra, v. 32, p. 239-336, 2002. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643380290813462>>. Acesso em: 12 fev 2018.

KORF, E. P. et al. Retenção de metais em solo da antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos de Passo Fundo, RS. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 2, n. 2, p. 43 - 60, 2008. Disponível em: <<https://www.revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/119>>. Acesso em: 19 jun 2018.

LANDTEC. **Projetos de Engenharia de Sistemas de Gás de Aterros Sanitários: enfoque prático**. Rio de Janeiro. 2006.

LANTZ, M. . S. M. . B. L. . B. P. . **The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden-Incentives, barriers and potentials**. Sweden: Energy Policy, v. 35, 2006. 1830 - 1843 p.

LIMA, A. N. **Análise do monitoramento da contaminação ambiental do solo do aterro de resíduos sólidos urbanos encerrado de Seropédica**. Rio de Janeiro: Dissertação (Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, 2015. 166 p. Disponível em: <<https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/13920>>. Acesso em: 12 fev 2018.

LIMA, J. D. **Modelos de apoio a decisão para alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. Recife – PE: Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, 2012. 400 p.

LIMA, R. M. et al. Spatially distributed potential of landfill biogas production and electric power generation in Brazil. **Waste Management**, v. 74, p. 323 - 334, april 2018.

LIMA, V. F.; MERÇON, F. Metais Pesados no Ensino de Química. **QUÍMICA NOVA NA ESCOLA**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 199 - 205, 2011. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc33_4/199-CCD-7510.pdf>. Acesso em: 19 jun 2018.

LOPES, A. A. **Estudo da gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos na bacia Tietê-Jacaré (UGRHI-13)**. São Carlos - SP: Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-04032008-125517/publico/Tese_AdrianaAntunesLopes.pdf>. Acesso em: 08 fev 2018.

LOPES, M. G. A.; CONDE, M. C. **O aterro sanitário como bioreactor: desafios geotécnicos**. [S.l.]: Geotecnia, v. 114, 2008. 47-70 p.

MACHADO, B. G. **Geração e Aproveitamento Energético do Biogás: Estudos de Caso**. Brasília: Projeto PROBIOGÁS, 2016.

MACIEL, F. J. **Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE**. Recife: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5806>>. Acesso em: 28 mar 2018.

MACIEL, F. J. **Geração de biogás e energia em aterro experimental de resíduos sólidos urbanos**. Recife: Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5213>>. Acesso em: 19 jun 2018.

MACIEL, F. J.; JUCÁ, J. F. T. Laboratory and field test for studying gas flow through MSW landfill cover soil. **ASCE Geotechnical Special Publication**, Denver, n. 99, p. 569 - 585, 2000. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/40510%28287%2938>>. Acesso em: 15 jun 2018.

MARINHO, R. C.; OLIVEIRA, R. M. S. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ATERRO SANITÁRIO DE PALMAS – TO, UTILIZANDO A FERRAMENTA ÍNDICE DA QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS – IQA. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, v. 01, n. 02, p. 123 - 141, 2013. Disponível em: <https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/gerenciamento_de_cidades/arti cle/viewFile/518/544>. Acesso em: 26 nov 2018.

MARQUES, M. S. **Diagnóstico ambiental, avaliação estrutural e operacional da área de disposição final dos resíduos sólidos urbanos em Rio Verde - GO**. Rio Verde: Monografia

(Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, 2016.

MARQUES, M. S. et al. Avaliação da Área de Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Rio Verde – GO. **10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental SQA/ABES-RS**, Porto Alegre - RS, 2016.

MARQUES, M. S.; LOPES, A. A. Avaliação da Área de Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Rio Verde – Goiás. **IV SIRS – Simpósio sobre Resíduos Sólidos. Anais. EESC/USP**, São Carlos - São Paulo, v. 4, p. 151-156, out 2015.

MIRANDA, R. N. **Direito Ambiental**. 3. ed. São Paulo: Rideel, 2011. 151 p.

MIRON, Y. . Z. G. . V. L. J. B. . L. G. The role of sludge retention time in the hydrolysis and acidification of lipids, carbohydrates and proteins during digestion of primary sludge in CSTR systems. **Water Research**, v. 34, p. 1705 - 1713, 2000. ISSN 0043-1354. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135499002808>>. Acesso em: 18 mar 2018.

MOREIRA, D. A. **O método fenomenológico na pesquisa**. São Paulo: Pioneira Thompson, 2002.

MOTA, S. **Introdução a Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

MOURA, R. C. S. . R. J. F. T. **A questão da saúde na Amazônia**. Brasília - DF: In: Barros, F. A. F. (Coord.) C & T no processo de desenvolvimento da Amazônia. Relatório Técnico - SCT/CNPq/CEST, 1990. 153-231 p.

MUNHOZ, S. I. S. **Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP: avaliação dos níveis de metais pesados**. Ribeirão Preto: Tese (Doutorado em Enfermagem em Saúde Pública) - Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://migre.me/pJl0x>>. Acesso em: 01 Novembro 2016.

NATURATINS. Encontro discute situação de aterros sanitários no Norte do Estado. **Instituto Natureza do Tocantins**, 2009. Disponível em: <<http://naturatins.to.gov.br/noticia/2009/4/28/encontro-discute-situacao-de-aterros-sanitarios-no-norte-do-estado/>>. Acesso em: 07 fev 2018.

NATURATINS. **Situação de Licenciamento Ambiental Aterros Sanitários nos Municípios do Estado do Tocantins**. Palmas: Instituto Natureza do Tocantins, 2014. Disponível em: <<https://central3.to.gov.br/arquivo/194663/>>. Acesso em: 07 fev 2018.

NIZAMI, A.-S. et al. Energy, Economic and Environmental Savings by Waste Recycling: A Case Study of Madinah City. **Energy Procedia**, v. 142, p. 910 - 915, december 2017.

OLIVEIRA, D. A.; SCHMIDT, G.; FREITAS, D. M. D. Avaliação de teor de ferro em águas subterrâneas de alguns poços tubulares, no plano diretor do Palmas. **Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, San Juan, p. 1 - 15, ago 2004. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/puertorico29/gilda.pdf>>. Acesso em: 11 jul 2018.

PALMAS. **Lei nº 1.011 de 04 de junho de 2001**. Palmas: Diário Oficial do Município de Palmas - TO, 2001. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=176641>>. Acesso em: 07 fev 2018.

PALMAS. **Decreto nº 244 de 05 de março de 2002**. Palmas: Diário Oficial do Município de Palmas - TO, 2002. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=176708>>. Acesso em: 07 fev 2018.

PALMAS. Aterro Sanitário de Palmas é considerado modelo nacional. **Prefeitura Municipal de Palmas - Secretaria Municipal de InfraEstrutura e Serviços Públicos**, 19 fev 2009. Disponível em: <<http://www.palmas.to.gov.br/secretaria/infraestrutura/noticia/3390/aterro-sanitario-de-palmas-e-considerado-modelo-nacional/>>. Acesso em: 08 fev 2018.

PALMAS. **DECRETO Nº 700 de 15 de janeiro de 2014**. Palmas: Publicado no Diário Oficial do Estado do Tocantins, 2014. 3 p. Disponível em: <<https://legislativo.palmas.to.gov.br/media/leis/DECRETO%20N%C2%BA%20700-2014%20de%2015-01-2014%2017-14-56.pdf>>. Acesso em: 24 fev 2018.

PECORA, V.; FIGUEIREDO, N. J. V.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G. Biogás: Potencial de geração de Energia Elétrica e Iluminação a gás por meio do aproveitamento de Biogás proveniente de Aterro. **IEE USP**, São Paulo, 2008.

PETERSSON, A.; WELLINGE, A. **Biogas upgrading technologies – developments and innovations**. Stockholm: IEA Bionergy, 2009. Disponível em: <https://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&sl=sv&u=https://sv.wikipedia.org/wiki/Scheelegatan,_Stockholm&prev=search>. Acesso em: 27 jul 2018.

POHLAND, F.; HARPER, S. **Critical review and summary of leachate and gas production from landfills**. EPA/600/2-86/073. ed. Atlanta: U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1985. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/20007KHC.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EP A&Index=1986%20Thru%201990&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFiel>>. Acesso em: 19 mar 2018.

PONTES, P. P.; CHERNICHARO, C. A. L.; PORTO, M. T. R. Estudo comparativo de metodologias para a determinação de proteínas em esgotos brutos e tratados. **XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Cancún, 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-111.pdf>>. Acesso em: 18 mar 2018.

PRICE, E. C.; CHEREMISINOFF, P. N. **Biogas: Production and Utilization**. New Jersey: Ann Arbor Science Publishers, 1981. 152 p.

PROBIOGÁS. **Biometano como combustível veicular**. Brasília: Ministério das Cidades, 2016. 76 p. Disponível em: <https://www.giz.de/en/downloads/giz_biogas_como_combustivel_digital_simples.pdf>. Acesso em: 13 jun 2018.

RECESA. Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Resíduos Sólidos: projeto, operação e**

monitoramento de aterros sanitários - Guia do Profissional em Treinamento, Belo Horizonte, v. 2, p. 120, 2008. Disponível em: <<http://nucase.desa.ufmg.br/wp-content/uploads/2013/07/RSU-POMA.2.pdf>>. Acesso em: 12 fev 2018.

REICHERT, G. A. **Manual. Projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários**. Caxias do Sul, RS: USC, 2007. 109 p.

REICHERT, G. A. **Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação de ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre**. Porto Alegre – RS: Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. 276 p.

REZENDE, J. H. **Composição Gravimétrica e Peso Específico dos Resíduos Sólidos Urbanos em Jaú (SP)**. Belo Horizonte: Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 18, 2013. 8 p.

RYCKEBOSCH, E. . D. A. V. . Techniques for transformation of biogas to Biomethane. **Biomass & Bioenergy**, Belgium, v. 35, n. 5, p. 1633-1645, mai 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953411001085>>. Acesso em: 13 jun 2018.

SANTOS, I. F. S. D. et al. Combined use of biogas from sanitary landfill and wastewater treatment plants for distributed energy generation in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 136, p. 376 - 388, september 2018.

SCHOLES, C. . K. A. S. . Carbon dioxide separation through polymeric membrane systems for fuel gas applications. **Recent Patents on Chemical Engineering**, Melbourne, p. 52 - 66, 2008. Disponível em: <<https://www.eurekaselect.com/92388/article/carbon-dioxide-separation-through-polymeric-membrane-systems-flue-gas-applications>>. Acesso em: 13 jun 2018.

SCHOLZ, M. . M. T. . W. M. . Transforming Biogas Into Biomethane Using Membrane Technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Aachen, v. 17, p. 199 - 212, jan 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112004789>>. Acesso em: 13 jun 2018.

SEISP. Aterro Sanitário de Palmas é considerado modelo nacional. **Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos**, 2009. Disponível em: <<http://www.palmas.to.gov.br/secretaria/infraestrutura/noticia/3390/aterro-sanitario-de-palmas-e-considerado-modelo-nacional/>>. Acesso em: 26 nov 2018.

SEISP. Quinta célula do aterro sanitário da Capital já está em operação. **Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos**, 2017. Disponível em: <<http://www.palmas.to.gov.br/secretaria/infraestrutura/noticia/1503745/quinta-celula-do-aterro-sanitario-da-capital-ja-esta-em-operacao/#>>. Acesso em: 26 nov 2018.

SEISP. Prefeitura de Palmas e IFTO Paraíso assinam Termo de Cooperação Técnica para monitoramento do sistema de tratamento do Aterro. **Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos**, 2018. Disponível em: <<http://www.palmas.to.gov.br/secretaria/infraestrutura/noticia/1508934/prefeitura-de-palmas-e-ifto-paraiso-assinam-termo-de-cooperacao-tecnica-para-monitoramento-do-sistema-de-tratamento-do-aterro/>>. Acesso em: 26 nov 2018.

SEMARH. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Tocantins**, 2016. Disponível em: <<http://semarh.to.gov.br/plano-estadual-de-residuos-solidos-pers-to/>>. Acesso em: 01 Novembro 2016.

SILVA, A. S. **Avaliação da Toxicidade dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Campina Grande – PB**. Campina Grande - PB: Dissertação (Mestre em Engenharia Civil e Ambiental), Grande, Universidade Federal de Campina, 2012. 139 p.

SILVA, C. A. B. V. E. **Limpeza e purificação de biogás**. Vila Real: Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2009. Disponível em: <<https://www.rcaap.pt/detail.jsp?id=oai:http://repositorio.utad.pt/:10348/263>>. Acesso em: 13 jun 2018.

SILVA, G. A. **Estimativa da geração de biogás no aterro sanitário metropolitano de João Pessoa através do teste BMP**. João Pessoa: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, 2012. Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br/handle/tede/5524>>. Acesso em: 18 mar 2018.

SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M. **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio Janeiro: FIOCRUZ, 2000. 138 p.

SOUTO, G. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros - estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“stripping”)**. São Carlos: Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-19022009-121756/pt-br.php>>. Acesso em: 19 mar 2018.

SOUZA, M. E. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. **Revista DAE**, São Paulo, v. 44, n. 137, 1984. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_137_n_1173.pdf>. Acesso em: 19 mar 2018.

TAVARES, S. R. D. L. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias na recuperação**. Rio de Janeiro: Dados eletrônicos, 2008. 228 p. ISBN 1517-2627.

TAVARES, S. R. D. L. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos**, Rio de Janeiro, p. 371, 2009.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. A. **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management Issue**. New York: McGraw Hill Inc., 1993. 978 p.

TEIXEIRA, G. P. et al. CONSIDERAÇÕES SOBRE A REMEDIAÇÃO E MONITORAMENTO GEOTÉCNICO E AMBIENTAL DO LIXÃO DE SALVATERRA - JUIZ DE FORA. **24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Belo Horizonte: ABES, v. 1, p. 208-209, 2007. Disponível em: <<http://thecna.com/pdf/076.pdf>>. Acesso em: 11 fev 2018.

TOCANTINS. LEI Nº 071, 31 jul 1989. Disponível em: <<https://central3.to.gov.br/arquivo/345037/>>. Acesso em: 24 fev 2018.

TOCANTINS. **Lei Estadual nº 261, de 20 de fevereiro de 1991**. Palmas: Diário Oficial do Estado do Tocantins, 1991. 60 p. Disponível em: <<https://central3.to.gov.br/arquivo/225856/>>. Acesso em: 07 fev 2018.

TOCANTINS. **Decreto nº 10.459 de 08 de junho 1994**. Palmas: Publicado no Diário Oficial do Estado do Tocantins, 1994. Acesso em: 24 fev 2018.

TOCANTINS. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Tocantins**. Palmas: [s.n.], 2017. Disponível em: <<https://central3.to.gov.br/arquivo/377360/>>. Acesso em: 07 fev 2018.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Air Emissions from Municipal Solid Waste Landfills – Background Information for Proposed Standards and Guidelines, 1991**. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/9100AEYT.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1991+Thru+1994&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>>. Acesso em: 16 jun 2018.

USEPA. **LANDGEM (Landfill Gas Emission Model)**. 3.02 - User's Guide. ed. Washington D. C: United States Environmental Protection Agency, 2005. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttnecatc1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>>. Acesso em: 16 jun 2018.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **EPA's Report on the Environment, 2008**. Disponível em: <https://cfpub.epa.gov/roe/documents/EPAROE_FINAL_2008.PDF>. Acesso em: 28 mar 2018.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: Um manual para climas quentes**. 1. ed. Campina Grande: Epgraf, v. 1, 1994.

WANG, Y. et al. Site selection for municipal solid waste landfill considering environmental health risks. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 138, p. 40 - 46, november 2018.

XU, Y. et al. Long-term dynamics of leachate production, leakage from hazardous waste landfill sites and the impact on groundwater quality and human health. **Waste Management**, v. 82, p. 156 - 166, december 2018.

XYDIS, G.; NANAKI, E.; KORONEOS, C. Exergy analysis of biogas production from a municipal solid waste landfill. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 4, p. 20 - 28, december 2013.

YA, X. et al. Buffering distance between hazardous waste landfill and water supply wells in a shallow aquifer. **Journal of Cleaner Production**, november 2018.

ZANETTE, A. L. **POTENCIAL DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS NO BRASIL**. Rio de Janeiro: Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009. 105 p. Disponível em: <http://ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/zanette_luiz.pdf>. Acesso em: 12 jun 2018.

ANEXOS

ANEXO 1 - Modelo de Planilha utilizada para o cálculo do IQR

ÍNDICE DA QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS - IQR				
MUNICÍPIO:			DATA:	
LOCAL:			AGÊNCIA:	
BACIA HIDROGRÁFICA:			UGRH:	
LICENÇA: LI: <input type="checkbox"/> L.O: <input type="checkbox"/>			TÉCNICO:	
ITEM	SUB-ITEM	AValiação	PESO	PONTOS
ESTRUTURA ADEQUADA	1. PORTARIA, BALANÇA E VIGILÂNCIA	SIM / SUFICIENTE	2	
		NÃO / INSUFICIENTE	0	
	2. ISOLAMENTO FÍSICO	SIM / SUFICIENTE	2	
		NÃO / INSUFICIENTE	0	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA	3. ISOLAMENTO VISUAL	SIM / SUFICIENTE	2	
		NÃO / INSUFICIENTE	0	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA	4. ACESSO À FRENTE DE DESCARGAS	ADEQUADO	3	
		INADEQUADO	0	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA	5. DIMENSÕES DA FRENTE DE TRABALHO	ADEQUADAS	5	
		INADEQUADAS	0	
	6. COMPACTAÇÃO DOS RESÍDUOS	ADEQUADA	5	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA		INADEQUADA	0	
	7. RECOBRIMENTO DOS RESÍDUOS	ADEQUADO	5	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA		INADEQUADO	0	
	8. DIMENSÕES E INCLINAÇÕES	ADEQUADAS	4	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA		INADEQUADAS	0	
	9. COBERTURA DE TERRA	ADEQUADA	4	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA		INADEQUADA	0	
	10. PROTEÇÃO VEGETAL	ADEQUADA	3	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA		INADEQUADA	0	
	11. AFLORAMENTO DE CHORUME	NÃO / RAROS	4	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA		SIM / NUMEROSOS	0	
	12. NIVELAMENTO DA SUPERFÍCIE	ADEQUADO	5	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA		INADEQUADO	0	
	13. HOMOGENEIDADE DA COBERTURA	SIM	5	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA		NÃO	0	
	14. IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	SIM/ADEQUADA (PREENCHER ITEM 15)	10	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA		NÃO/INADEQUADA (PREENCHER ITEM 15)	0	
	15. PROFUNDIDADE (P) X PERMEABILIDADE DO SOLO (k)	$P > 3 \text{ m}$, $k < 10^{-9} \text{ cm/s}$	4	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA		$1/2 P < 3 \text{ m}$, $k < 10^{-6} \text{ cm/s}$	2	
		CONDIÇÃO INADEQUADA	0	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA	16. DRENAGEM DE CHORUME	SIM / SUFICIENTE	4	
		NÃO / INSUFICIENTE	0	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA	17. TRATAMENTO DE CHORUME	SIM / ADEQUADO	4	
		NÃO / INADEQUADO	0	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA	18. DRENAGEM PROVISÓRIA DE ÁGUAS PLUVIAIS	SUFICIENTE / DESNECES	3	
		NÃO / INSUFICIENTE	0	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA	19. DRENAGEM DEFINITIVA DE ÁGUAS PLUVIAIS	SUFICIENTE / DESNECES	4	
		NÃO / INSUFICIENTE	0	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA	20. DRENAGEM DE GASES	SUFICIENTE / DESNECES	4	
		NÃO / INSUFICIENTE	0	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA	21. MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	ADEQUADO	4	
		INADEQUADO / INEXISTENTE	1	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA		INEXISTENTE	0	
	22. MONITORAMENTO GEOTÉCNICO	ADEQUADO / DESNECES	4	
ESTRUTURA FORMAL CORRETA		INADEQUADO / INSUFICIENTE	1	
		INEXISTENTE	0	
SUBTOTAL 1			88	
ITEM	SUB-ITEM	AValiação	PESO	PONTOS
OUTRAS INFORMACOES	23. PRESENÇA DE CATADORES	NÃO	2	
		SIM	0	
	24. QUEIMA DE RESÍDUOS	NÃO	2	
		SIM	0	
	25. OCORRÊNCIA DE MOSCAS E COORES	NÃO	2	
		SIM	0	
	26. PRESENÇA DE AVES E ANIMAIS	NÃO	2	
		SIM	0	
	27. RECEBIMENTO DE RESÍDUOS NÃO AUTORIZADOS	NÃO	2	
		SIM	0	
OUTRAS INFORMACOES	28. RECEBIMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	SIM (preencher item 29)		-
		NÃO (preencher 30)		
OUTRAS INFORMACOES	29. ESTRUTURAS E PROCEDIMENTOS	SUFICIENTE / ADEQUADO	10	
		INSUFICIENTE / INADEQ.	0	
SUBTOTAL 2.1			10	
SUBTOTAL 2.2			20	
CARACTERÍSTICA	30. PROXIMIDADES DE NÚCLEOS HABITACIONAIS	$>= 500\text{m}$	2	
		$< 500\text{m}$	0	
	31. PROXIMIDADES DE CORPOS DE ÁGUA	$>= 300\text{m}$	2	
		$< 200\text{m}$	0	
		$< 2 \text{ ANOS}$	<input type="checkbox"/>	
CARACTERÍSTICA	32. VIDA ÚTIL DA ÁREA	$2 < x <= 5 \text{ ANOS}$	<input type="checkbox"/>	
		$> 5 \text{ ANOS}$	<input type="checkbox"/>	
CARACTERÍSTICA	33. RESTRIÇÕES LEGAIS AO USO DO SOLO	SIM	<input type="checkbox"/>	
		NÃO	<input type="checkbox"/>	-
SUBTOTAL 3			4	
TOTAL MÁXIMO (100)	TOTAL MÁXIMO (110)			
TOTAL MÁXIMO 2.1	TOTAL MÁXIMO 2.2			
sem recebimento de resíduos industriais	com recebimento de resíduos industriais			
<input type="text"/>	<input type="text"/>			
IQR-SOMA DOS PONTOS/10	IQR-SOMA DOS PONTOS/11			
sem recebimento de resíduos industriais	com recebimento de resíduos industriais			
<input type="text"/>	<input type="text"/>			
IQR	AValiação			
0,0 a 7,0	CONDIÇÕES INADEQUADAS			
7,1 a 10,0	CONDIÇÕES ADEQUADAS			

DISPÕEM EM:

ANEXO 2 – Imagem da Locação dos Pontos de Coleta das amostras de águas subterrâneas e de percolado do Aterro Sanitário de Palmas – TO

