

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

Bruno Araújo Monteiro

**SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À DETECÇÃO INDIRETA DE
BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO DE CAUCAIA (CE)**

Maracanaú, Ceará

2020

Bruno Araújo Monteiro

SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À DETECÇÃO INDIRETA DE BIOGÁS
EM ATERRO SANITÁRIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em energias renováveis. Área de concentração: Energias Renováveis.

Profa. Dra. Erika da Justa Teixeira Rocha

Maracanaú, Ceará

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M772s Monteiro, Bruno Araújo.
SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À DETECÇÃO INDIRETA DE BIOGÁS EM ATERROS
SANITÁRIOS / Bruno Araújo Monteiro. - 2020.
58 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Energias Renováveis, Campus
Fortaleza, 2020.

Orientação: Profa. Dra. Erika da Justa Teixeira Rocha.

Coorientação: Profa. Dra. Christine Farias Coelho.

1. Biogás. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Energia. I. Título.

CDD 620.91

BRUNO ARAÚJO MONTEIRO

SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À DETECÇÃO INDIRETA DE BIOGÁS EM
ATERROS SANITÁRIOS

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energias Renováveis, área de concentração Energias Renováveis.

Aprovada em ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Erika da Justa Teixeira Rocha (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Profa. Dra. Christine Farias Coelho
Universidade Federal do Ceará- UFC

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”

Theodore Roosevelt

RESUMO

O sensoriamento remoto orbital é uma tecnologia que vem sendo bastante utilizada devido à sua grande diversidade de aplicações. Essa ferramenta tem seu uso embasado no processamento de imagens de satélite, drones, espectrorradiometria, entre outros, onde pode-se averiguar diversas informações, desde o estado da vegetação até a temperatura do ar e do solo de uma determinada região. Esse último ponto torna-se bastante vantajoso no mérito da estimativa de biogás produzido em aterros sanitários e lixões, onde é possível fazer uma correlação entre a temperatura do solo e a quantidade de gás gerado na localidade, estimando-se assim potencial energético. Nesse estudo, obtive o resultado de estimativa de geração de biogás de aproximadamente 8 milhões de m³, o que pode gerar cerca de 3.617 kWh/ano e a temperatura estimada dentro da área do aterro foi, em média, 29,6°C.

Palavras-chave: Landsat 8, biomassa, energia.

ABSTRACT

Remote sensing is a technology that has been widely used due to his great diversity of applications. This tool has his usage based on satellite image processing, where can be observed several informations, since the conditions of vegetation until air and soil temperature of certain region. This last point become very attractive in the meaning of biogas production analysis in landfills and dumping ground, where it's possible to make a correlation between soil temperature and amount of gas generated in loco, thus estimating its energetic potential. Such analysis become important and relevant in face of the actual problem of big amount of waste and air pollution, consequence of gas burn or his emission *in natura*, so as the energy crisis due to the lack or even absence of rainfall and the high price of energy in Brazil. In view of these facts, this paper aims to evaluate remote sensing as a tool for indirect detection of biogas in landfills, as well as the potential for eletric power generation of this gas.

Keywords: biogas, remote sensing, energy.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. Objetivo geral.....	11
2.2. Objetivos específicos.....	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
3.1. Legislação específica.....	12
3.2. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	13
3.2.1. Geração de RSU.....	13
3.2.2. Destinação final de RSU.....	14
3.3. Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos.....	15
3.3.1. Aterros Sanitários.....	15
3.3.1.1. Decomposição de resíduos em aterros sanitários.....	18
3.4. Sensoriamento Remoto.....	22
3.4.1. Índices de Vegetação.....	24
3.4.2 Temperatura da superfície do solo.....	25
3.5. Biogás e energia.....	27
3.5.1. Diagnóstico de energia.....	27
3.5.2. Biogás para geração de energia.....	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.1. Tipo de estudo.....	32
4.2. Local de estudo, amostra e critérios de inclusão.....	32
4.3. Períodos e etapas do estudo.....	36
4.3.1. Aquisição de dados de satélite.....	36
4.3.2. Processamento computacional.....	37
4.3.2.1. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).....	37
4.3.2.2. Cálculo de radiância.....	37
4.3.2.3. Conversão de radiância em temperatura do ar.....	37
4.3.2.4. Cálculo da emissividade da superfície do solo.....	38

4.3.2.5. Temperatura da superfície do solo.....	39
4.3.2.6. Procedimentos finais.....	39
4.3.3. Estimativa populacional.....	40
4.3.4. Geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).....	40
4.3.5. Estimativa de biogás gerado.....	41
4.3.6. Potencial de geração de energia elétrica.....	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
5.1. População contribuinte.....	42
5.2. Geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).....	43
5.3. Geração de biogás.....	45
5.4. Geração de energia elétrica.....	47
5.5. Temperatura do solo.....	48
5.6. Temperatura do aterro.....	52
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
REFERÊNCIAS.....	55

1. INTRODUÇÃO

Mundialmente, os sistemas de energia convencionais estão tornando-se obsoletos, devido à gradual redução da oferta de combustíveis fósseis, baixo aproveitamento energético e poluição ambiental. Diante disso, novas percepções de geração e distribuição de energia estão sendo formadas a fim de substituir os métodos convencionais, como por exemplo o gás natural, biogás, energia eólica, células fotovoltaicas, células de combustíveis, veículos elétricos, entre outros. Esse tipo de geração de energia é denominado geração distribuída, onde é aplicado para diferenciar essas fontes do modelo tradicional centralizado (CHOWDHURY; CHOWDHURY; CROSSLEY, 2009).

A ausência de coleta de resíduos sólidos e a sua destinação, correspondem a um tema atual e recorrente, fator primário de diversos problemas sanitários, que vão desde abrigo de vetores de doenças até a poluição do solo e água subterrânea pelo chorume. No Brasil, cerca de 72,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos são coletadas anualmente, o que corresponde a 90,8% de cobertura de coleta. Desse montante, apenas 58,7% é destinado de forma correta para aterros sanitários, sendo todo o resto levado a lixões (ABRELPE, 2017).

Nos lixões e aterros, ocorre um processo de decomposição da matéria orgânica denominado de digestão anaeróbia. Esse processo consiste na decomposição de resíduos orgânicos biodegradáveis através de microrganismos em ambiente anaeróbio, ou seja, sem a presença do gás oxigênio (O_2), que irão transformar a matéria orgânica em subprodutos tais como gás carbônico (CO_2), gás metano (CH_4), entre outros gases, formando o biogás. Tal processo ocorre basicamente em quatro etapas, sendo elas hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (GONÇALVES, 2010). A temperatura de superfície do solo tende a ser maior dentro dos aterros sanitários devido à decomposição anaeróbia (YEUNG et al., 2014). Essa reação é exotérmica, ou seja, libera calor ao final do processo, o que justifica o aumento na temperatura.

O biogás gerado a partir da decomposição anaeróbia possui um valor econômico agregado, uma vez que o mesmo pode ser utilizado na geração de energia elétrica. De acordo com Ensinas (2003), a reutilização desses gases pode-se apresentar como solução para redução do volume de resíduos em aterros e lixões, pois reduz a emissão de gás metano e tem a possibilidade de gerar energia elétrica, reduzindo custos e otimizando o ganho ambiental. Com vistas a um cenário de escassez de recursos oriundos do meio ambiente, a utilização de energias renováveis, como o biogás por exemplo, poderá amenizar os impactos ao meio ambiente e promover o desenvolvimento sustentável (ZHENG; PAN, 2014).

A grande dispersão geográfica dos locais onde há um potencial de geração de energia através de biomassa chamou a atenção de vários pesquisadores para o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para avaliação das características dessa biomassa, bem como a logística e a viabilidade da área a ser utilizada para tal finalidade (VOIVONTAS; ASSIMACOPOULOS; KOUKIOS, 2001).

Tendo em vista esse cenário, as ferramentas de geoprocessamento e técnicas de sensoriamento remoto orbital surgem com um grande potencial de pesquisa e desenvolvimento, pois possuem uma vasta gama de utilidades, desde a análise locacional para instalação de usinas geradoras de energia através do biogás até a detecção do gás através de sensoriamento remoto. Nesse contexto, a presente pesquisa pretende avaliar o potencial do sensoriamento remoto orbital para detecção, de forma indireta, de biogás em aterros sanitários, utilizando como estudo de caso o Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia - ASMOC.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar por meio de sensoriamento remoto orbital, o potencial de produção energética do biogás gerado em aterros sanitários, utilizando como estudo de caso o Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia - ASMOC.

2.2. Objetivos específicos

- Estimar a temperatura do solo através de imagens de satélite;
- Validar a temperatura do solo;
- Estimar a quantidade de biogás gerado no aterro sanitário;
- Estimar o potencial de energia elétrica gerada através do biogás;

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Legislação específica

O Brasil passou a ter diretrizes mais claras e objetivas de gestão, regulação e controle dos resíduos sólidos urbanos com a lei federal nº 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010). Ela estabelece os princípios e conceitos de geração, controle, fiscalização e responsabilidades inerentes aos resíduos, de uma forma generalizada em âmbito nacional.

Para uma gestão eficiente e adequada dos resíduos é necessário cumprir alguns critérios, tais como: não geração, reutilização e reaproveitamento. quando não for possível eliminar a geração, que se possa reduzir, reutilizar ou reciclar o material ou resíduo sólido, reduzindo assim a quantidade de matéria inorgânica que é destinada aos aterros sanitários e melhorando a qualidade da decomposição da matéria orgânica.

No Estado do Ceará, desde 2016 existe uma regulamentação legal para os resíduos sólidos urbanos, dada pela lei nº 16.032/2016, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) (CEARÁ, 2016). A lei regulamenta a disposição, tratamento e destinação final dos resíduos no estado e estabelece as responsabilidades do poder público e dos geradores. Trata também dos resíduos perigosos, formas de descarte e acondicionamento e das proibições em geral.

O município de Fortaleza possui uma legislação específica para resíduos sólidos, que é a lei nº 10.340/2015 (Fortaleza (CE), 2015). Ela classifica os geradores, atribui as penalidades, classifica os empreendimentos que necessitam do plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS) e os que são isentos e dão diretrizes para a elaboração do plano, da fiscalização e da correta coleta e destinação final.

O município de Caucaia, região metropolitana de Fortaleza, local onde está localizado o ASMOC possui também uma legislação municipal sobre resíduos sólidos. Essa legislação é caracterizada pela lei nº 1.367/2001, que trata da política ambiental do município e aborda o tema resíduos com classificação de geradores, classificação dos empreendimentos que necessitam do plano de gerenciamento, os que são isentos, penalidades, atribuições de coleta e destinação final (Caucaia (CE), 2001).

3.2. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos

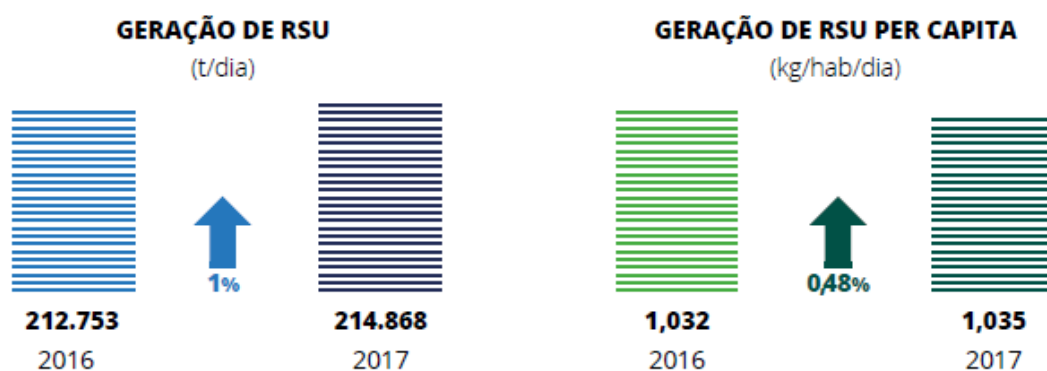
A quantidade de resíduos coletados no Brasil no ano de 2017, segundo Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2017), foi de 71,6 milhões de toneladas. Isso corresponde a 91,2% de cobertura de coleta no país, o que implica em 8,8% de resíduos não coletados, o que corresponde a 6,9 milhões de toneladas. Estima-se que os resíduos não coletados, foram encaminhados a destinos incorretos, não seguindo a PNRS.

Com relação à destinação final, não foram registradas mudanças no cenário: 59,1% dos resíduos coletados são destinados a aterros sanitários, correspondentes a 42,3 milhões de toneladas; 40,9% restantes são despejados em locais inadequados por 3.352 municípios no país, em sua grande maioria em lixões, totalizando mais de 29 milhões de toneladas. Os recursos financeiros despendidos pelos municípios à limpeza pública urbana foi de R\$10,37 por habitante por mês, em média (ABRELPE, 2017).

3.2.1. Geração de RSU

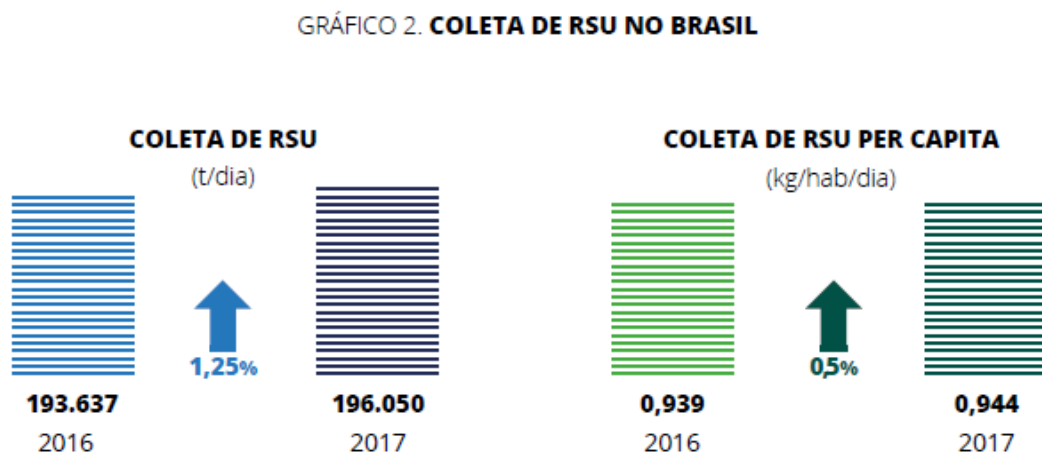
Entre 2016 e 2017, a população brasileira teve um crescimento de 0,75%. Já a geração de resíduos aumentou 1% e a geração *per capita* 0,48%, apresentando um valor total de 214.868 toneladas diárias de RSU (ABRELPE, 2017). O gráfico 1 abaixo mostra a geração de rsu em toneladas por dia e a geração *per capita* entre os anos de 2016 e 2017.

Gráfico 1. Geração de RSU x geração *per capita*. Fonte: ABRELPE/IBGE, 2017.



Com relação à coleta de RSU, a quantidade coletada em 2017 cresceu em todas as regiões do país, mantendo uma cobertura um pouco superior a 90%. A região sudeste apresenta o maior percentual de cobertura dos serviços de coleta do país, com aproximadamente 53% do total de resíduos coletados (ABRELPE, 2017). O gráfico 2 informa a quantidade de RSU coletada por dia e a quantidade coletada *per capita* para os anos de 2016 e 2017, respectivamente.

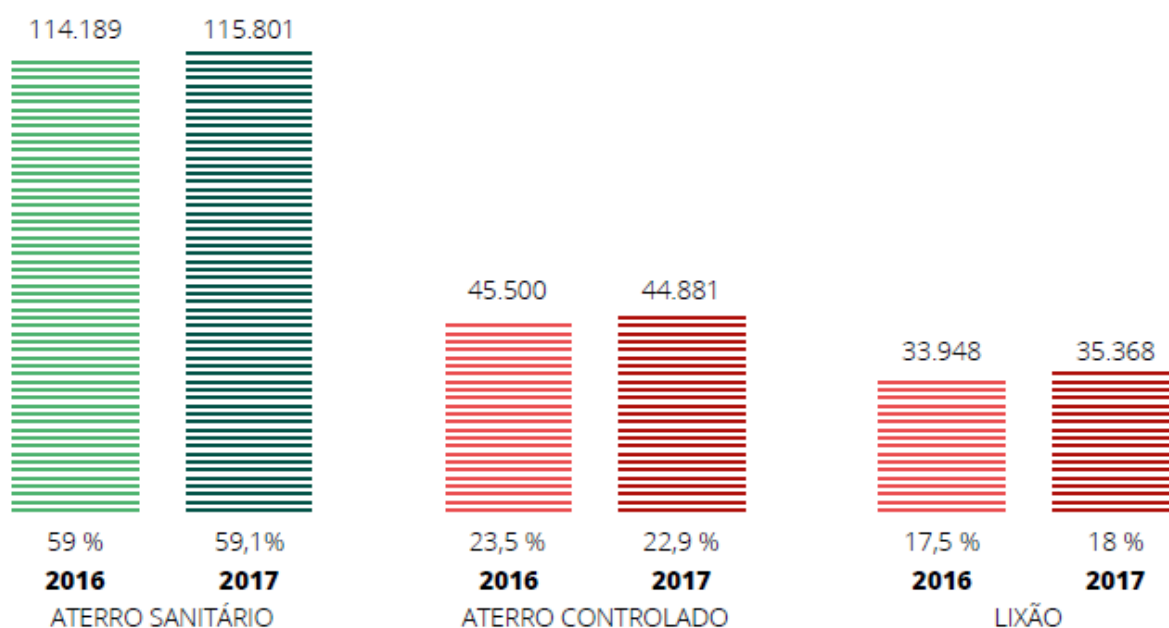
Gráfico 2. Coleta de RSU x coleta *per capita*. Fonte: ABRELPE/IBGE, 2017.



3.2.2. Destinação final de RSU

A disposição final de RSU foi, em sua maioria, cerca de 59,1% do montante atual, destinada da forma correta, de acordo com a PNRS (ABRELPE, 2017). Os locais inadequados como lixões e aterros controlados, ainda que em minoria, representam um volume bastante elevado de resíduos, com 80 mil toneladas por dia e um índice superior a 40%, o que revela ainda um grande potencial poluidor degradador nas localidades onde isso ocorre. Assim, pode-se utilizar esse montante para projetos que beneficiem o uso do resíduo na geração de biogás com o intuito final da geração de energia elétrica, dando uma finalidade para o resíduo que está sendo disposto de forma contrária ao que diz a legislação específica. O gráfico 3 abaixo informa a disposição final dos resíduos em um comparativo entre os anos 2016 e 2017.

Gráfico 3. Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (t/dia). Fonte: ABRELPE, 2017.



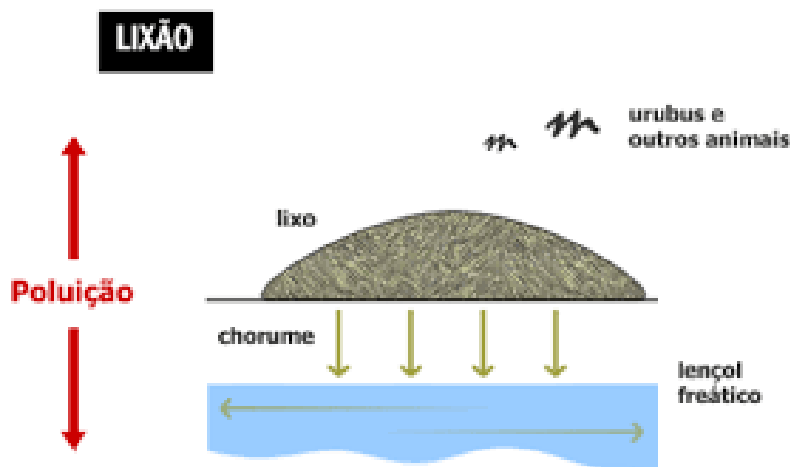
3.3. Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos

3.3.1. Aterros Sanitários

No Brasil, a opção mais adotada para o tratamento dos resíduos urbanos é o aterro sanitário na teoria, pois na prática há um misto entre aterros sanitários e lixões (BARROS, 2012). Em países como por exemplo França e Alemanha, os aterros são bem reduzidos, sendo utilizados apenas para destinar os resíduos que não podem ser reciclados ou que não possam ser tratados de outras formas.

Os lixões, segundo Marques (2011) correspondem ao simples descarte de resíduos sobre o solo, sem nenhum controle ou medidas de proteção. Esse descarte inadequado pode gerar consequências negativas para o meio ambiente e para a saúde pública. Em termos ambientais, pode contaminar o solo e as águas subterrâneas através do lixiviado conhecido popularmente como chorume. Na saúde pública pode ser foco de vetores de doenças, como por exemplo moscas, mosquitos, ratos, entre outros. A Figura 1 mostra um esquema de lixão.

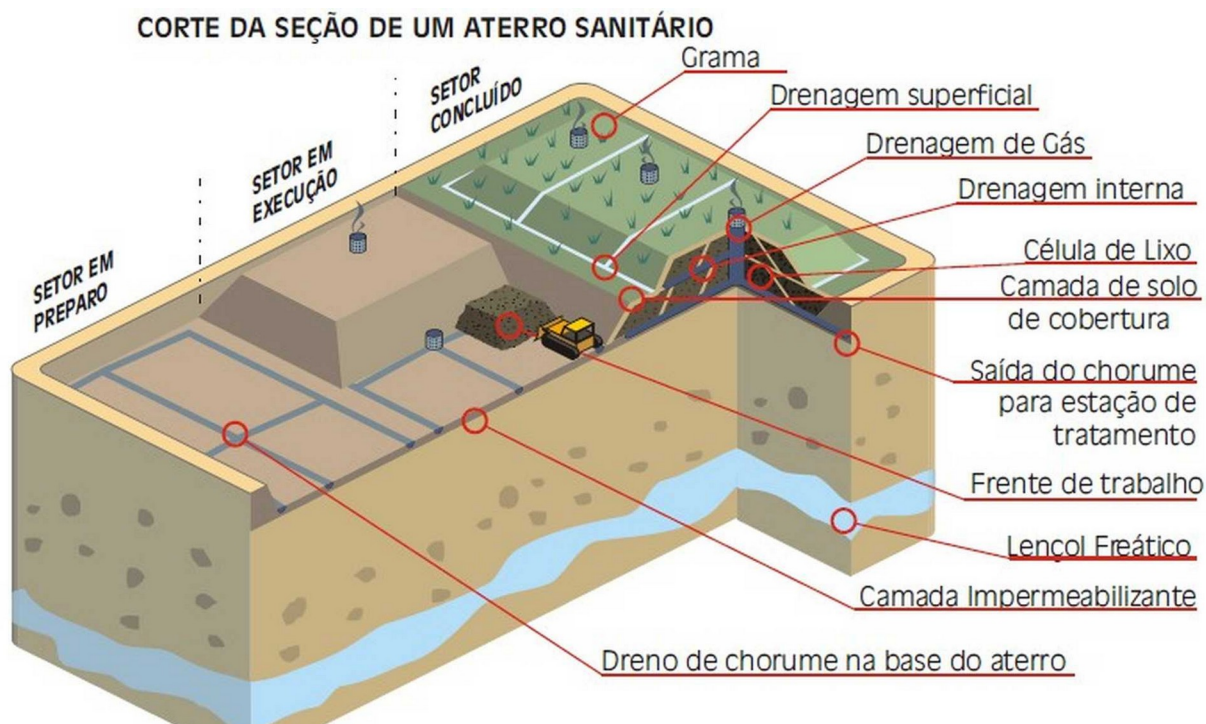
Figura 1. Esquema representativo de lixão. Fonte: Google, 2019.



De acordo com Barros (2012), os aterros sanitários são apenas um elemento, entre vários que compõem a gestão de resíduos. Eles estão no final da cadeia de processos, mas todas as etapas anteriores, como reduzir, reciclar, compostar e tratar, precisam ser ajustadas. Preocupar-se apenas com a boa gestão de aterros sanitários é negligenciar o caminho e preocupar-se apenas com o destino.

Os aterros sanitários podem ser definidos, segundo ABNT (1992), como uma técnica de disposição de resíduos sólidos, que minimiza impactos ambientais e não causam danos à saúde pública e que utiliza princípios da engenharia para acomodar os resíduos na menor área possível e depois cobri-los com areia. Os critérios de operação, de instalação e de processamento, assim como sua vida útil é regida pelo licenciamento ambiental, que deve ser feito cumprindo as indicações legais contidas na resolução CONAMA nº 404/08 (BRASIL, 2009). A Figura 2 descreve a estrutura básica geral de um aterro sanitário e seus componentes.

Figura 2. Corte da seção de um aterro sanitário. Fonte: Portal Resíduos Sólidos, 2018.



Segundo Ribeiro (2016), os aterros diferem entre si pelas formas construtivas e operacionais. No geral, utiliza-se a estrutura de células com cobertura de solo, que varia de acordo com o tipo de resíduo que está sendo aterrado, tipo de solo da região, volume médio de precipitações e vida útil do aterro. A tabela 1 a seguir descreve os procedimentos de execução de células de um aterro sanitário.

Tabela 1. Procedimentos de execução de células em um aterro sanitário. Fonte: Adaptado de BARROS, 2012.

Elemento	Forma de execução
Célula	- Os resíduos são descarregados dos caminhões e espalhados, compactados contra um talude ou célula anterior. - O talude deve ter inclinação de 1:1 ou 1:2. - A compactação deve ser feita em camadas não muito espessas (30cm), conseguindo-se uma redução de até 1:4 do volume de

	resíduos. • A altura da célula deve ser de 2 a 4 metros para que a decomposição ocorra em condições próximas às ideais.
Recobrimento	• É lançada uma camada com 15 a 30cm do material de cobertura (solo) e compacta-se com 05 passagens de trator. Ao fechamento de cada célula, deixa-se um desnível na parte superior, em torno de 2% para evitar acúmulo de água. • A camada de cobertura final deve ter entre 60cm a 1m, recoberta com camada de terra fértil sobre a qual pode-se plantar gramíneas ou vegetação de maior porte de acordo com o projeto do aterro.

3.3.1.1. Decomposição de resíduos em aterros sanitários

O processo de decomposição de resíduos sólidos em aterros, conforme sugere Vieira *et al.* (2015), envolve uma degradação gradual de compostos complexos (carboidratos e proteínas) em compostos mais simples (açúcares, ácidos orgânicos, álcoois), tendo como produto final gás carbônico, água, gás metano e sais inorgânicos. A decomposição pode ser observada em diferentes estágios e é diretamente proporcional à idade do aterro. Em aterros considerados jovens, com menos de dois anos de operação, os processos de degradação dos compostos ainda estão no início, com pouca formação de metano e muita presença de orgânicos complexos. Em aterros considerados maduros, com mais de dez anos de

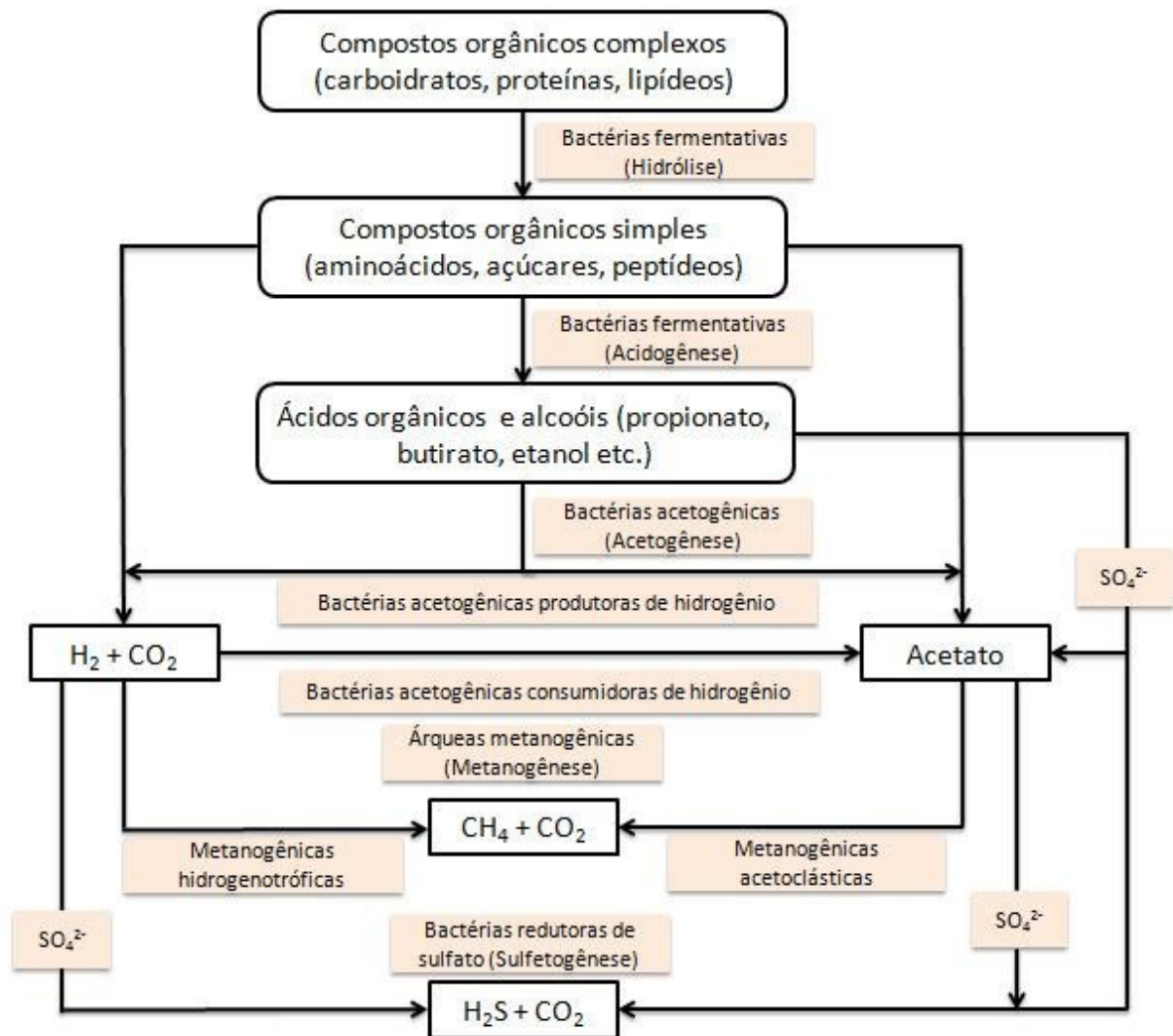
operação, a situação é invertida, com presença forte de gases metano e carbônico, poucos orgânicos complexos e aumento no volume de lixiviado.

A digestão anaeróbia, que pode ser descrita como processo biológico de tratamento de resíduos onde ocorre a decomposição através de bactérias anaeróbias, ocorre naturalmente em ambientes onde há concentração de matéria orgânica e ausência relativa de oxigênio. Contudo, esse processo pode ser otimizado em reatores ou aterros sanitários (GONÇALVES, 2010).

O processo de decomposição anaeróbia ocorre prioritariamente em três etapas, que são: hidrólise/acidogênese, acetogênese e metanogênese. Na hidrólise/acidogênese, as bactérias fermentativas acidogênicas convertem os compostos orgânicos complexos (proteínas, lipídios, carboidratos) em compostos mais simples (ácidos orgânicos, hidrogênio e dióxido de carbono). Os micro organismos sintróficos acetogênicos convertem os compostos intermediários (ácidos orgânicos como propionato e butirato) em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Por fim, o acetato e o hidrogênio produzido nas etapas anteriores são transformados em metano e dióxido de carbono (SILVA; BORTOLI, 2018).

A conversão final em metano e dióxido de carbono é feita por um grupo de bactérias denominado arqueas metanogênicas, que são seres procariontes e estritamente anaeróbios. Elas possuem uma codependência com as bactérias formadoras de ácidos, pois necessitam do substrato fornecido durante o processo de acidogênese (PERUZZO, 2017). A Figura 3 mostra a rota metabólica da digestão anaeróbia.

Figura 3. Rota metabólica da digestão anaeróbia. Fonte: Adaptado de (CHERNICHARO, 2016)



A primeira fase do processo de decomposição anaeróbia é a hidrólise de materiais complexos em materiais dissolvidos mais simples. Essa conversão é realizada pelas bactérias fermentativas hidrolíticas, através de exoenzimas. Esse processo ocorre de forma lenta, pois vários fatores afetam o grau e a taxa em que o substrato é hidrolisado, tais como: temperatura, tempo de deposição do material, composição do material, tamanho das partículas, pH, concentração de compostos nitrogenados e concentração de produtos de outros processos de hidrólise (CHERNICHARO, 2016).

Os subprodutos da hidrólise são metabolizados no interior das bactérias fermentativas, através de seu metabolismo. Esses microrganismos fermentam, em

sua maioria, açúcares, aminoácidos e ácidos graxos, resultantes da hidrólise da matéria orgânica complexa, produzindo diversos ácidos orgânicos como o ácido acético, propiônico e butírico, além de álcoois, cetonas, dióxido de carbono e hidrogênio. A acidogênese é realizada por um grande grupo de bactérias e seus produtos metabólicos são importantes substratos para as próximas etapas (acetogênese e metanogênese) (SILVA; BORTOLI, 2018).

A acetogênese é realizada pelas bactérias sintróficas acetogênicas, as quais são responsáveis pela oxidação dos compostos intermediários, como os ácidos orgânicos, em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Essa etapa do processo resulta em grande formação de hidrogênio, fazendo com que o pH do meio decresça. Para manter o equilíbrio, é necessária a presença de organismos consumidores de hidrogênio. A importância da acetogênese se dá pelo fato de que 60 a 70% dos elétrons do substrato original são canalizados para a produção de acetato (PERUZZO, 2017).

Na metanogênese, etapa final do processo, os compostos orgânicos são transformados em metano e dióxido de carbono, através das arqueas metanogênicas. Ecologicamente, as bactérias metanogênicas são muito importantes nos processos anaeróbios, pois removem o excesso de hidrogênio e outros produtos da fermentação, produzidos nas etapas anteriores. Elas se dividem em duas classes, conforme seu substrato de atuação, que podem ser o acetato (metanogênicas acetoclásticas) ou o hidrogênio (metanogênicas hidrogenotróficas). As acetoclásticas são predominantes na digestão anaeróbia e 60 a 70% de toda a produção de metano é feita através de seus processos. As hidrogenotróficas produzem metano a partir do hidrogênio e gás carbônico, gerando uma maior liberação de energia (ARAÚJO, 2017).

Concomitantemente com a metanogênese, outro processo pode ocorrer na digestão anaeróbia, denominado sulfetogênese. A presença dessa etapa depende exclusivamente da composição do substrato (presença de sulfato) e das condições de reação. A sulfetogênese é um processo no qual o sulfato e outros componentes são utilizados como aceptores de elétrons, durante a oxidação de compostos orgânicos, ocorrendo a redução de sulfato a sulfeto pelas bactérias redutoras de

sulfato. O principal subproduto dessa reação é o sulfeto de hidrogênio. As bactérias redutoras de sulfato são concorrentes diretas das arqueas metanogênicas e o fator limitante para o subproduto final vai ser a composição do substrato. Se houver muita presença de sulfato, a sulfetogênese será predominante, mas caso contrário, a decomposição resultará prioritariamente na formação do metano pelas bactérias metanogênicas (CHERNICHARO, 2016), conforme ilustra a figura 3.

Durante a decomposição dos resíduos, os gases metano e carbônico totalizam, em média, 95% dos gases encontrados em um aterro sanitário. O conjunto de gases é denominado biogás. Outros gases, em proporções menores, estão presentes no biogás, tais como: gás sulfídrico, gás nitrogênio e oxigênio e compostos orgânicos voláteis. A composição exata do biogás depende de vários fatores, como a idade do aterro, da composição gravimétrica dos resíduos, dos procedimentos operacionais, temperatura, umidade e pH. Para climas secos e úmidos, adota-se valores entre 0,14 e 0,18 m³ de metano por kg de resíduo. No entanto, esses valores podem variar entre 0,10 a 0,35 para climas úmidos e 0,02 a 0,10 para climas secos (BARROS, 2012).

De acordo com Gonçalves (2018), as reações anaeróbias são exotérmicas, portanto liberam calor ao final do processo. A temperatura final depende de vários fatores, como tipo de solo, região, formato do sistema, profundidade, entre outros. Para aterros sanitários no Brasil, o clima úmido com médias de temperaturas elevadas, favorece a formação do biogás, proveniente da decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos. As temperaturas em média situam-se na faixa entre 30 e 40°C, na região denominada mesofílica.

3.4. Sensoriamento Remoto

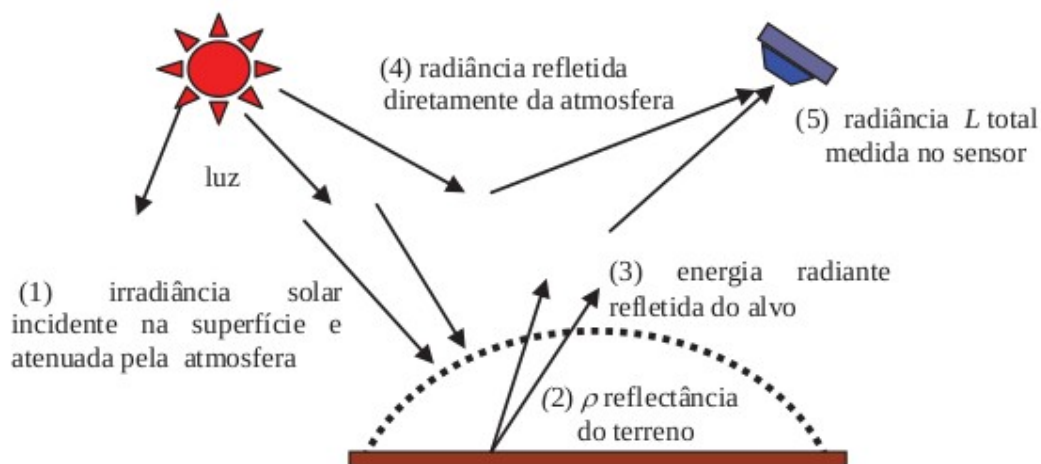
Historicamente, o termo sensoriamento remoto orbital foi designado para uma nova tecnologia capaz de obter imagens da superfície da terra através de longas distâncias, inclusive do espaço. Portanto, tem-se uma definição mais genérica que classifica o sensoriamento remoto como uma técnica de obtenção de imagens da superfície da Terra sem nenhum contato físico entre o sensor e o objeto. Realizando

uma análise sobre esse conceito, percebe-se que, para definir o sistema de uma forma mais criteriosa, necessita-se de alguns parâmetros, como ausência de objetos físicos entre o sensor e o objeto e a importância da conexão entre o sensor e o objeto ser a radiação magnética. Assim, pode-se definir que sensoriamento remoto é a aquisição de imagens da superfície terrestre, por meio das respostas da interação da radiação eletromagnética (REM) com os materiais terrestres (MENESES; ALMEIDA, 2012).

De acordo com o modelo ondulatório, a REM é explicitada como uma forma de onda senoidal e harmônica. Uma partícula carregada eletricamente gera um campo elétrico em torno de si e o seu movimento gera, por sua vez, um campo magnético, os quais atuam vibrando ortogonalmente entre si, possuindo a mesma amplitude. Sendo as variações dos campos causadas por vibrações da partícula, quando esta partícula é acelerada gera uma perturbação nos campos magnético e elétrico, com orientação também ortogonal, denominada radiação eletromagnética. A REM propaga-se no vácuo na velocidade da luz e possui comprimentos de onda variáveis, desde bilionésimos de metro (raios cósmicos) até quilômetros (ondas de rádio) (NOVO, 2010).

A natureza energética de REM é expressa pelos pulsos que são emitidos, os quais carregam uma certa quantidade de energia. Essa energia dos pulsos, quando em contato com os objetos, interage com os mesmos por meio de trocas de energia que ocorrem a níveis microscópicos (orbitais de elétrons). Parte dessa energia é absorvida e parte é refletida, sendo essa última enviada aos sensores, os quais medem a radiação refletida e processam as imagens, como pode ser observado na figura 4. Materiais de diferentes composições químicas possuem diferentes índices de absorção e refletância. Portanto, para se diferenciar imagens de sensoriamento remoto orbital, deve-se obter imagens nos comprimentos de onda de alta energia para diferenciação de materiais e imagens com comprimentos de onda elevados, para diferenciação de texturas e relevo dos objetos a serem imageados e estudados (MENESES; ALMEIDA, 2012). A figura 4 exemplifica o processo de sensoriamento remoto.

Figura 4. Exemplo de sensoriamento remoto. Fonte: Adaptado de (MENESES, 2012).



O espectro eletromagnético, presente na REM que chega à Terra, pode ser definido como a sua representação contínua, em termos de comprimento de onda, frequência ou energia. O espectro é separado em faixas diferentes, de acordo com seus aspectos físicos retrocitados. De acordo com Ribeiro; Silva; Da Silva (2016) as faixas mais utilizadas em sensoriamento remoto são as subdivisões que abrangem aparte do visível, infravermelho próximo, médio, distante e de micro-ondas. Assim, faz-se necessário conhecer as características e comprimentos de onda das faixas citadas para o estudo de sensoriamento remoto.

3.4.1. Índices de Vegetação

Os índices de vegetação estão entre os principais objetivos do sensoriamento remoto, onde é feita a caracterização, tipologia e condição da vegetação. Contudo, somente a medida de refletância de uma superfície não é suficiente para realização desse trabalho, fazendo-se necessária a utilização de duas ou mais bandas espectrais, com o intuito de reduzir o erro nas análises (RIBEIRO; SILVA; SILVA, 2016). De acordo com esses autores, a aquisição dos índices é feita por combinações matemáticas de refletâncias de diversas faixas do espectro

eletromagnético, com o intuito de extrair informações mais específicas, como por exemplo o tipo de vegetação, superfície vegetada, entre outros.

Vários índices foram estimados pela primeira vez na década de 70, baseados em sua grande maioria no satélite da série Landsat, com posterior utilização de outros sensores. Alguns englobam as refletâncias da faixa do visível e infravermelho próximo e outros na faixa do infravermelho termal e micro-ondas (MAGALHÃES; JUNIOR; SANTOS, 2017).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é expresso pela razão entre a diferença das reflectividades das bandas do infravermelho próximo e no vermelho pela soma das mesmas reflectividades. Esse índice é um indicador bastante preciso da quantidade e condição da vegetação, para os quais os valores apresentados variam de -1 a 1 e, nas superfícies que contém nuvens, é sempre menor que 0 (DAMIAN, 2017). A equação 1 descreve a relação para encontrar o NDVI.

$$NDVI = \frac{P_4 - P_3}{P_4 + P_3} \quad (1)$$

onde: P₄ e P₃ são os valores de refletância das bandas infravermelho próximo e vermelho do satélite Landsat.

3.4.2 Temperatura da superfície do solo

As relações térmicas entre as superfícies do solo e a atmosfera são obtidas pelo fluxo de calor de superfície, a qual sofre grandes mudanças com atividades antrópicas (agricultura, urbanização). O principal fator contribuinte das alterações das características físicas da superfície do solo (capacidade térmica, condutividade de calor) é a urbanização, onde o solo deixa de ser exposto e a vegetação sofre uma supressão para instalação de asfalto ou concreto, causando alterações diretas nos fluxos radioativos e de calor do solo (SOUZA; SILVA; SILVA, 2016).

Enquanto os processos físicos são difíceis de monitorar apenas com equipamentos localizados, sensores instalados em satélites fornecem dados quantitativos do

espaço físico em altas resoluções espaciais. Por isso, sistemas de sensoriamento remoto têm sido bastante utilizados para classificar vários fenômenos urbanos, como por exemplo o crescimento das cidades, mudanças no uso e ocupação do solo, alterações dos índices de vegetação, entre outros (GALLO; XIAN, 2014).

Atualmente, com a melhoria da resolução espacial e o advento de novas tecnologias para estimativa de fluxo de calor via satélites, o uso de dados sensoriais tem permitido novas aplicações e estudos sobre a denominada climatologia urbana, podendo-se citar como exemplo a influência das modificações do uso do solo na sua temperatura de superfície e o impacto na temperatura do ar causado pela urbanização (KRÜGER; MINELLA; RASIA, 2011). A temperatura da superfície pode ser obtida a partir das bandas termais dos satélites, sendo ela bastante aplicada na meteorologia e análise de recursos naturais, com ênfase em estruturação de modelos de balanço de energia e parâmetros biofísicos da superfície (SOUZA; SILVA; SILVA, 2016).

A temperatura da superfície pode ser obtida através de imagens de satélites orbitais. Para tal finalidade, foram desenvolvidas ferramentas que se baseiam na equação de transferência térmica para estimar a temperatura de superfície, obtidos através das bandas termais, os quais necessitam da transmitância, emissividade e temperatura da atmosfera (MUNIZ et al., 2016). O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma base de dados que se utiliza de equipamentos de geotecnologias como satélites, GPS, mapas e outros para caracterizar e trabalhar os espaços físicos. O sensoriamento remoto é uma ciência que, através de sensores de radiação eletromagnética, infere propriedades de objetos na superfície da Terra. Esses sensores estão localizados em satélites em órbita no planeta, cujas imagens adquiridas podem ser acessadas por base de dados da empresa ou órgão que lançou o satélite ao espaço.

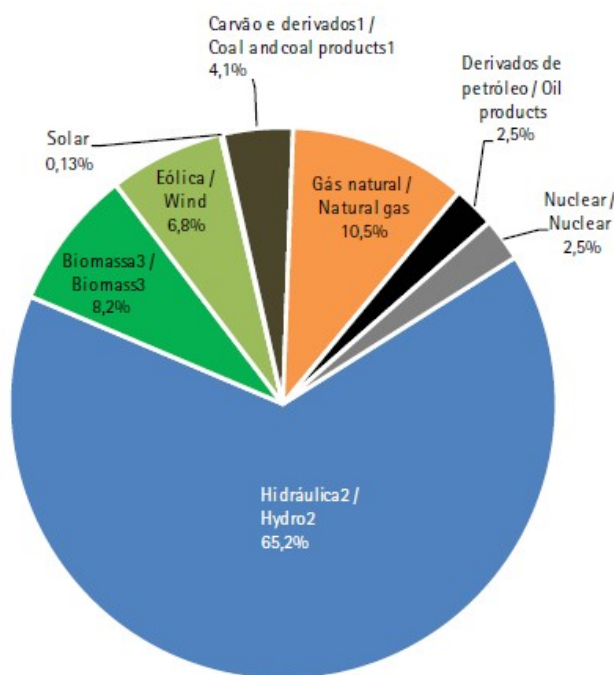
O uso de imagens de sensoriamento remoto e técnicas de sistemas de informação geográfica (SIG) tornam-se importantes pois permitem a avaliação das alterações ambientais, principalmente na relação de uso e ocupação do solo no campo térmico, onde permite a compreensão da dinâmica dos processos biofísicos e da interação entre solo, vegetação e atmosfera (SANTANA et al., 2014).

3.5. Biogás e energia

3.5.1. Diagnóstico de energia

No Brasil, a geração de energia de centrais públicas e autoprodutores alcançou o valor de 588 TWh em 2017, valor 1,6% maior que o ano de 2016. As centrais elétricas públicas participaram com 83,5% da geração total. A energia proveniente das usinas hidrelétricas, tiveram uma queda na geração de 2,6% comparado ao ano de 2016. A energia não renovável representou 20,8% da geração nacional, contra 19,6% no ano de 2016. As importações de energia, na ordem de 36,4 TWh, somadas à geração nacional, garantem uma oferta de 624,3 TWh. Já o consumo final no ano de 2017 foi de 526,2 TWh, mostrando que houve um superávit energético no país (EPE, 2018). O gráfico 1 ilustra o cenário atual da energia no Brasil.

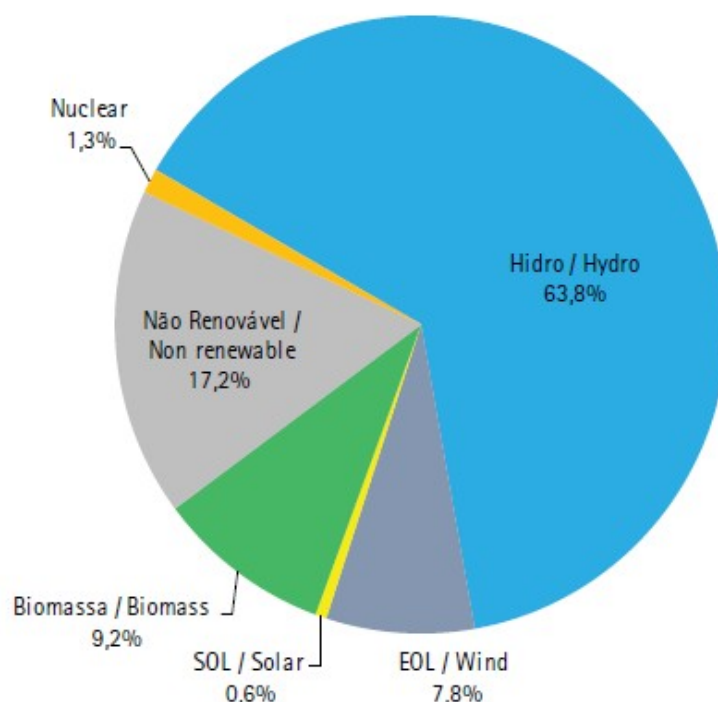
Gráfico 1. Oferta interna de energia por fonte geradora. Fonte: Adaptado de (EPE, 2018)



O Brasil possui uma matriz elétrica prioritariamente renovável, com a fonte hídrica representando 65,2% da oferta interna. As fontes renováveis representam 80,4% da oferta interna de eletricidade no país, que resulta da geração interna mais a energia

importada que é de origem renovável (EPE, 2018). O gráfico 2 mostra a participação das fontes de energia na capacidade instalada no ano de 2017.

Gráfico 2. Participação das fontes de energia na capacidade instalada. Fonte: Adaptado de (EPE, 2018)



Para a expansão da capacidade instalada, as centrais hidráulicas contribuíram com 3.350 MW, o que equivale a 49,5% do total adicionado, enquanto as eólicas contribuíram com 2.159 MW, o que corresponde a 21,3%. Como destaque, pode-se citar a evolução da potência instalada da energia solar fotovoltaica, que atingiu 935 MW em 2017 contra 24 MW em 2016 (EPE, 2018).

No ano de 2017, a mini e micro geração distribuída de energia elétrica foi incentivada por ações regulatórias, tais como a possibilidade de compensação de energia excedente produzida por sistemas de menor porte. A micro e mini geração atingiu a marca de 359,15 GWh com potência instalada de 246,1 MW, com destaque para a solar fotovoltaica, com 165,87 GWh e 174,5 MW, respectivamente (EPE, 2018). A tabela 2 a seguir mostra a capacidade instalada de geração de energia.

Tabela 2. Capacidade instalada de geração de energia em percentual. Fonte: Adaptado de (EPE, 2018)

REGIÃO	HIDRO HYDRO			TERMO THERMAL			EÓLICA WIND			SOLAR SOLAR			NUCLEAR NUCLEAR	TOTAL TOTAL			REGION
	SP	APE	TOTAL	SP	APE	TOTAL	SP	APE	TOTAL	SP	APE	TOTAL	SP	SP	APE	TOTAL	
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	TOTAL
NORTE	25,3	7,4	24,4	15,3	2,4	9,2	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0	20,8	3,4	18,0	NORTH
NORDESTE	11,6	10,5	11,5	35,3	12,0	24,2	82,7	91,9	82,7	73,8	100,0	73,8	0,0	22,4	11,7	20,7	NORTHEAST
SUDESTE	24,3	39,8	25,1	27,4	59,8	42,7	0,2	8,0	0,2	25,3	0,0	25,2	100,0	23,7	55,7	28,8	SOUTHEAST
SUL	24,3	34,0	24,8	14,5	8,9	11,8	17,1	0,1	17,1	0,4	0,0	0,4	0,0	21,5	14,0	20,3	SOUTH
CENTRO- OESTE	14,5	8,4	14,2	7,5	16,9	12,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	11,7	15,2	12,2	CENTER-WEST

* SP – Serviço Público

* APE - Autoprodutor

3.5.2. Biogás para geração de energia

De acordo com Gomes e Suda (2017) a utilização do biogás para fins energéticos, representa uma forma de redução de gases de efeito estufa. Com essa finalidade, grande parte do gás metano, que é 21 vezes mais poluente que o dióxido de carbono, é consumido no processo, evitando que seja liberado na atmosfera. A cogeração de energia representa a produção de energia térmica e mecânica, que é convertida em energia elétrica por motores ou geradores.

O gás metano, segundo Surendra *et al.* (2014) é o único componente do biogás que contribui com valor calorífico. Como exemplo, pode-se citar que 1m³ de biogás em condições normais de temperatura e pressão contém, aproximadamente, 60% de gás metano, o qual possui um valor calorífico nessa situação específica de 21,5 MJ ou 5,97 KWh equivalente, o que é pouco, comparado com 35,8 MJ e 9,94 KWh equivalente por m³ de metano puro, em condições normais de temperatura e pressão.

A biomassa, fonte energética na qual o biogás está inserido, corresponde a 9,4% do total da matriz energética, mas somente 0,0722% são oriundos de aterros sanitários. Atualmente o país conta com 15 usinas geradoras de biogás a partir de resíduos

sólidos urbanos, correspondendo a geração de 114.680 KWh de energia (ANEEL, 2016).

O beneficiamento do biogás, promove, além de redução de gases de efeito estufa e crédito de carbono, melhoria socioambiental, pois fornece novo campo de atuação profissional, capacita novos trabalhadores e auxilia na segurança do aterro e da comunidade vizinha (LIMA et al., 2017).

Para Lima *et al.* (2017), a conversão energética é o processo que transforma um tipo de energia em outro. No caso do biogás, a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica através de um processo de combustão e, em seguida, convertida em energia elétrica por meio de um gerador. Para a conversão energética, as tecnologias mais empregadas são as microturbinas a gás e os motores de combustão interna de Ciclo de Otto.

Para a eficiência na prática de geração de energia elétrica através do biogás, faz-se necessário um estudo de viabilidade técnica, que analisa o potencial de produção e a viabilidade econômica, identificando também a melhor tecnologia a ser utilizada. Nesse estudo, devem ser levadas em consideração várias variáveis, como por exemplo a composição dos resíduos dispostos, umidade, tamanho das partículas, temperatura, pH, idade dos resíduos e projeto e execução do aterro sanitário (LIMA et al., 2017). A tabela 3 mostra um comparativo econômico da geração de energia elétrica.

Tabela 3. Comparativo de custos de investimento de matrizes energéticas. Fonte: (LIMA et al., 2017)

FONTES DE GERAÇÃO	CUSTOS (em US\$/kW)
Usinas Elétricas	1.330
Potencial até 60.900 MW	1.100
Potencial entre 60.900 e 70.900 MW	1.450
Potencial entre 70.900 e 80.900 MW	1.800
Potencial acima de 80.900 MW	2.500
Pequenas Centrais Hidroelétricas	1.200
Co-Geração a partir da Biomassa da Cana	900
Centrais Eólicas	1.300
Resíduos Sólidos Urbanos	1.350
Centrais Nucleares	2.200
Térmicas a Carvão Mineral	1.600
Térmicas a Gás Natural	750
Outras Usinas	500

No caso específico do biogás, na tabela 4 a seguir são demonstrados alguns indicadores de viabilidade econômica, divididos por regiões do país.

Tabela 4. Indicadores de viabilidade econômica do biogás por regiões do país. Fonte: (BRASIL, 2010b)

Indicadores de Viabilidade econômica		Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Quantidade de locais por região		3	13	3	26	11
Toneladas de CO ₂ e (mil)	Agregado	4.186,55	17.869,44	2.980,75	54.073,92	9.720,05
	Médio	1.395,52	1.374,57	993,58	2.457,91	883,64
Potencial de Geração (MW)	Agregado	13	60	10	170	33
	Médio	4,33	4,62	3,33	7,73	3,00
Valor do Investimento (R\$ MM)	Agregado	30,52	175,02	34,83	472,78	94,95
	Médio	10,17	13,46	11,61	21,49	8,63
Custo do Investimento (R\$/MW)		267,98	332,99	397,63	317,47	328,44
Custo Operacional (R\$ MM)	Agregado	123,16	558,13	78,81	1.598,11	305,24
	Médio	41,05	42,93	26,27	72,64	27,75
Custo Financeiro (R\$ MM)	Agregado	18,04	103,48	20,59	279,53	56,14
	Médio	6,01	7,96	6,86	12,71	5,10
Receita Bruta (R\$ MM)	Agregado	336,56	1.542,14	193,05	4.512,07	813,55
	Médio	112,19	118,63	64,35	205,09	73,96
Lucro Bruto (R\$ MM)	Agregado	87,67	357,97	26,61	1.137,95	184,59
	Médio	29,22	27,54	8,87	51,73	16,78
Impostos Gerados (R\$ MM)	Agregado	77,17	347,53	32,20	1.023,70	172,63
	Médio	25,72	26,73	10,73	46,53	15,69
Valor Presente (R\$ MM)	Agregado	23,86	18,87	12,97	165,16	10,24
	Médio	7,95	1,45	4,32	7,51	0,93

Mesmo com todo o potencial para a geração de energia elétrica através do biogás, existem ainda alguns empecilhos para sua utilização em larga escala. A tabela 5 elenca algumas vantagens e desvantagens sobre o uso dessa tecnologia como fonte de energia.

Tabela 5. Vantagens e limitações do reaproveitamento energético do biogás. Fonte: Adaptado de (LIMA et al., 2017)

Vantagens	Limitações
Geração de energia, para uso do próprio aterro ou para comercialização.	Falta de garantia do fornecimento mínimo de lixo para alimentar a usina.
Disposição final adequada até o fim do ciclo de vida dos rejeitos.	Tecnicamente viável, mas em escala, a implementação ainda é muito custosa.
Reduz emissão de metano, conforme recomendam Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e Acordo de Paris.	Falta política integrada de incentivo da tecnologia em grande escala no país (como de outras energias renováveis).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Tipo de estudo

O tipo de estudo utilizado foi o experimental, com o processamento das imagens de satélite feito de forma digital, através de software computacional Quantum Gis® 3.4. Para a validação dos dados de temperatura, foram adquiridas informações oficiais do aterro sanitário em questão.

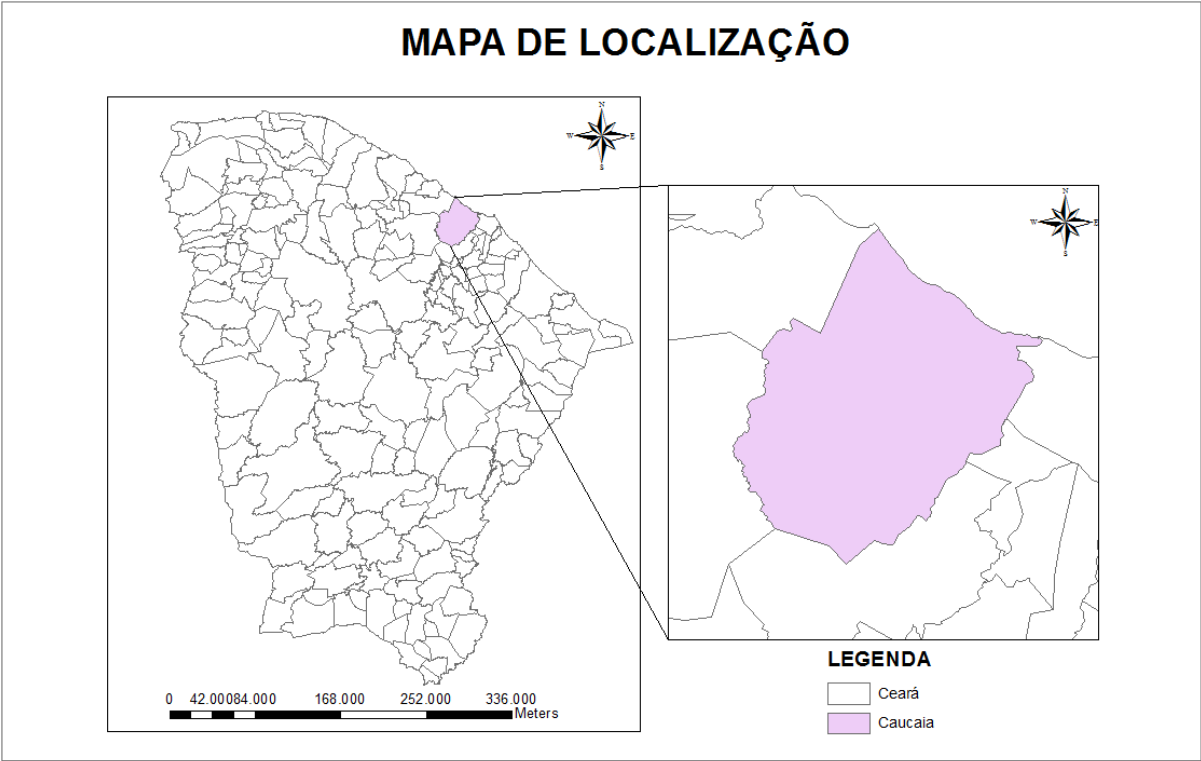
4.2. Local de estudo, amostra e critérios de inclusão

O estudo foi realizado no Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia (ASMOC), localizado no bairro Jurema - Caucaia - CE. As coordenadas geográficas do local são: 3°47'42"S e 38°40'21"O, conforme Figuras 4 e 5 abaixo.

Figura 4. Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia (ASMOC). Fonte: Adaptado de Google.



Figura 5. Mapa de localização do município de Caucaia - CE. Fonte: Autor.



O ASMOC foi implementado originalmente em 1990, sendo seu projeto original previsto para operação durante 20 anos, conforme licenciamento ambiental aprovado no órgão estadual competente. Contudo, em 2010, houve a necessidade de uma ampliação do projeto original do aterro, tendo em vista a crescente demanda de espaço e tratamento dos resíduos sólidos de Fortaleza e Região Metropolitana. Esse processo de ampliação até o presente momento não foi concluído e não possui horizonte de projeto definido.

O município de Caucaia, conforme afirma Souza e Medeiros (2015) possui em sua estrutura geológica dois conjuntos bem distintos: coberturas sedimentares terciário-quaternárias e litologias de embasamento cristalino pré-cambriano. Quando se trata do relevo, Caucaia é reconhecido por altitudes médias a baixas, com médias abaixo dos 100 metros de altitude, salvo os maciços residuais. A tabela 6 abaixo sintetiza a correlação entre as unidades litológicas e as feições geomorfológicas presentes no município.

Tabela 6. Síntese das unidades geológicas e geomorfológicas de Caucaia. Fonte: Adaptado de Souza e Medeiros (2015).

Unidade geológica	Unidade geomorfológica
Complexo Gnáissico-Migmatítico	Depressão sertaneja de Caucaia Maciços residuais do Juá, Conceição e Camará
Complexo Granitóide-Migmatítico	Maciço residual da Serra de Maranguape
Formação Barreiras	Tabuleiro pré-litorâneo
Ultrabásitos	Cristas residuais e <i>Inselbergs</i>
Rochas vulcânicas alcalinas	Cristas residuais e <i>Inselbergs</i>
Depósitos aluviais e lacustres	Planície fluvial e lacustre
Paleodunas	Campo de dunas fixas
Dunas móveis, faixa de praia e terraço marinho	Campo de dunas móveis, faixa de praia e terraço marinho
Depósitos flúvio-marinhos	Planície flúvio-marinha

Seguindo ainda as premissas de Souza e Medeiros (2015), pode-se citar que Caucaia possui cobertura sedimentares representadas pela Formação Barreiras, depósito flúvio-aluvionares, paleodunas, dunas móveis e depósitos flúvio-marinhos. Possui também maciços residuais e uma pequena parte do seu território pode ser representada pela depressão sertaneja.

Souza e Medeiros (2015) classificam os solos segundo as unidades geomorfológicas. Assim sendo, foram identificados, no município de Caucaia, solos do tipo neossolos litólicos, planossolos háplicos, argissolos vermelho-amarelos, vertissolos, luvisolos, neossolos quartzarênicos, neossolos flúvicos e gleissolos sálicos.

O município está localizado na bacia hidrográfica metropolitana. Segundo Filho, Lima e Pinheiro (2017) a referida bacia possui 15.085 km² de extensão e é formada por 16 sub-bacias distribuídas por 31 municípios cearenses, os quais concentram boa parte da produção econômica do estado. A população estimada é de 3 milhões de habitantes e a disponibilidade hídrica não é suficiente para suprir a demanda do setor produtivo, sendo necessária a importação de água de outras bacias.

4.3. Períodos e etapas do estudo

4.3.1. Aquisição de dados de satélite

As amostras foram adquiridas gratuitamente em forma de imagem de satélite do site www.earthexplorer.com, mais precisamente do satélite Landsat 8, por ser um clássico na observação da Terra, sendo a série Landsat lançada em 1972 e, mais especificamente, o Landsat 8 lançado em 2013. O referido satélite possui tempo de revisita de 16 dias, resolução espacial de 100x100m no seu sensor termal (TIRS), os quais geram imagens infravermelho termal em duas faixas de resolução espectral. As imagens foram coletadas sempre no segundo semestre de cada ano, devido ao fato do primeiro semestre ser de chuvas no local de amostragem, sofrendo assim grande interferência de nuvens, tendo em vista que o processamento foi realizado com imagens de satélite. Portanto, entre agosto e dezembro, foram escolhidas uma imagem por mês, para a realização dos processamentos, nos anos de 2013 a 2019. Os critérios de inclusão foram o período do ano e a qualidade das imagens, que se baseou em um ponto principal: ausência de nuvens. Todas as fórmulas citadas nesse trabalho foram copiadas do site do satélite Landsat 8 (SURVEY, 2005).

Algumas imagens, prioritariamente no início do ano (período chuvoso da região), foram descartadas pela alta incidência de nuvens, o que prejudica a aferição da temperatura tanto do ar como do solo, por consequência, desviando o foco do trabalho e não podendo serem utilizadas como parâmetro de comparação.

Na etapa de aquisição de dados, foram observados os períodos chuvosos e não chuvosos da região, horizonte temporal de amostras e qualidade das imagens de satélite. O horizonte temporal escolhido foi de 07 anos (2013 - 2019) e a qualidade das amostras foi priorizada, sendo utilizado um critério de cobertura de nuvens menor ou igual a 20% e o caminho e linha correspondentes às coordenadas do ASMOC são: caminho 217 e linha 63. Todo o processo de download realizado diretamente do sítio eletrônico do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), que juntamente com a Marinha Americana (US Navy) faz a gestão do satélite utilizado para a pesquisa, que foi o da série Landsat® 8.

Imagem	Data
1	01/07/2013
2	02/08/2013
3	03/09/2013
4	19/09/2013
5	21/10/2013
6	20/07/2014
7	05/08/2014
8	22/09/2014
9	09/11/2014
10	08/08/2015
11	24/08/2015
12	27/10/2015
13	25/07/2016
14	10/08/2016
15	26/08/2016
16	29/10/2016
17	14/11/2016
18	28/07/2017
19	13/08/2017
20	29/08/2017
21	14/09/2017
22	30/09/2017
23	16/08/2018
24	01/09/2018
25	02/07/2019
26	19/08/2019
27	20/09/2019

4.3.2. Processamento computacional

4.3.2.1. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

Para o cálculo do NDVI foi utilizada uma ferramenta analítica do software computacional chamada "raster calculator". Essa ferramenta consegue efetuar processamentos através das informações contidas nas imagens de satélite, uma vez que cada pixel da imagem contém uma informação, como numa matriz fundamental. Outra informação necessária é que as imagens de satélite possuem várias frequências de onda eletromagnética, denominadas de bandas. No caso específico do Landsat 8, existem 11 bandas disponíveis para estudos, onde cada uma possui uma frequência determinada. Para o NDVI foram utilizadas as bandas 4 e 5, que representam as faixas de frequência do infravermelho e infravermelho próximo, respectivamente. De acordo com Survey (2005) a fórmula para o cálculo é a

$$\text{seguinte: NDVI} = \frac{P4 - P3}{P4 + P3} \quad (1)$$

onde P4 e P3 são os valores de refletância das bandas infravermelho próximo e vermelho, respectivamente, do satélite Landsat.

4.3.2.2. Cálculo de radiância

No cálculo de radiância, precisa-se dos arquivos meta dados disponibilizados junto com as imagens do satélite. Cada imagem possui seus valores próprios de radiância, reflectância, incidência solar entre outros, que podem ser encontrados nos referidos arquivos. Voltando à radiância, deve-se utilizar novamente a ferramenta "raster calculator" ou calculadora raster e utilizar a seguinte fórmula, conforme Survey (2005): radiância multiplicadora de banda x banda + radiância de soma da banda. Feito isso para os valores das bandas 10 e 11, tem-se os valores estimados de radiância.

4.3.2.3. Conversão de radiância em temperatura do ar

Para a temperatura do ar, utiliza-se os dados de radiância obtidos no passo anterior. A fórmula a ser utilizada (equação 2), de acordo com Survey (2005), é a seguinte:

$$T_{ar} = K2 / \ln(K1 / \text{radiância da banda} + 1) - 272,15 \quad (2)$$

onde:

K2 e K1 = Constantes de temperatura presentes nos arquivos metadata;

Ln = Logaritmo natural;

272,15 = Fator de conversão para graus Celsius.

A conversão se dá pelos valores de radiância obtidos, que representam a quantidade de energia eletromagnética, que retorna em forma de radiância após incidir sobre o solo (seja ele coberto ou não) e retorna em parâmetros de reflectância. Essa radiância altera a temperatura do ar no seu retorno, sendo possível estabelecer-se um paralelo para estimar a temperatura do ar da região em estudo.

4.3.2.4. Cálculo da emissividade da superfície do solo

O cálculo da emissividade representa, de fato, a quantidade de energia luminosa, na forma de ondas eletromagnéticas, retorna da superfície do solo. Nisso, tem-se duas situações, uma para solos expostos e outra para solos com cobertura vegetal. Essa distinção já foi feita no cálculo do NDVI, que fornece os índices de vegetação da área e portanto será utilizado nesse passo também.

Outro ponto importante é calcular a proporção de vegetação, para assim equalizar o produto final, aplicando pesos diferentes para o solo exposto e o solo coberto de vegetação, uma vez que essa cobertura gera uma diferença na temperatura do solo e do ar.

Então, utilizando as premissas de Survey (2005), calcula-se a proporção de vegetação pela seguinte fórmula (equação 3):

$$P_v = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min} / \text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min})^2 \quad (3)$$

onde:

NDVI = Índice de vegetação da diferença normalizada;

NDVImin = Valor mínimo do índice;

NDVImax = Valor máximo do índice.

Para esse cálculo, utiliza-se novamente a calculadora raster, inserindo a seguinte expressão como vetor de entrada: $\text{square}(\text{NDVI} - \text{NDVImin} / \text{NDVImax} - \text{NDVImin})$.

Depois de obtido o valor de proporção de vegetação, calcula-se o de emissividade de acordo com a equação 4:

$$I_{se} = 0.004P_v + 0.986 \quad (4)$$

onde:

P_v = proporção de vegetação ou vegetação proporcional;

0,004 e 0,986 são coeficientes de equalização.

4.3.2.5. Temperatura da superfície do solo

No cálculo da temperatura da superfície do solo, utiliza-se, segundo Survey (2005) a equação 5:

$$I_{st} = b_t / 1 + w * (B_T / p) * \ln(I_{se}) \quad (5)$$

onde:

B_T = temperatura de superfície do ar da banda em questão (banda 10);

w = comprimento de onda da radiação emitida (banda 10);

$p = h * c / s (1.438 * 10^{-2} \text{ m K})$, onde:

h = constante de Planck

s = constante de Boltzmann

c = Velocidade da luz

$p = 14380$ escalar constante;

$\ln$ = logaritmo natural.

Para esse procedimento utiliza-se novamente a calculadora raster e após o processo finalizado, tem-se a temperatura da superfície do solo.

4.3.2.6. Procedimentos finais

Após encontrados os valores de temperatura do solo, realizou-se um trabalho visual nos mapas para uma melhor identificação da área de estudo. Esse procedimento é apenas estético e não influencia nos dados obtidos. Para tal, foi utilizada a composição de bandas rgb (*red*, *green* e *blue*), para a imagem de satélite ficar com cores reais (vegetação verde, corpos hídricos azuis e solos marrons), depois foi feita uma demarcação da área do aterro e em seguida um buffer de 600 metros, para área de influência direta, finalizando com a ferramenta clip. Depois do corte da imagem, tem-se a área do aterro em destaque com um perímetro de 600 metros.

Os valores de temperatura foram ajustados para limites fechados, sem números decimais, com uma amplitude variando de 25°C a 33°C. Para a geração de pontos aleatórios entre os anos 2013 a 2019 estipulou-se uma variação máxima de 2°C para cada ponto dentro e fora do aterro.

4.3.3. Estimativa populacional

Para o cálculo da população de Fortaleza e Região Metropolitana, são utilizados os dados de IBGE (2010) com uma progressão geométrica para projeção populacional dada pela equação 6 e 7, para o ano de 2019.

$$P = P_0 \cdot e^{Kg(T - T_0)}$$

(6)

$$Kg = (\ln P_2 - \ln P_0) / (T_2 - T_0) \quad (7)$$

onde:

P = População final

P₀ = População do ano inicial

P₂ = População de ano intermediário

Kg = Coeficiente de projeção

T = Tempo final (ano final)

T₀ = Tempo inicial (ano inicial)

T₂ = Tempo intermediário (ano intermediário).

Obs: Para o ano inicial, utiliza-se o ano de 2000. Para o ano intermediário, utiliza-se 2010 e para o ano final 2019.

4.3.4. Geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Os resíduos sólidos urbanos (RSU), podem ser estimados de acordo com sua geração *per capita* multiplicado pela população projetada. Os valores de geração de resíduos são expressos em massa/dia (kg/hab.dia). Para o ano de 2018, utiliza-se o valor estabelecido por (BRASIL; SNIS, 2016) para a massa de resíduos coletada para o ano de 2016 e aplica-se o percentual de crescimento populacional para o ano de 2018. Sendo assim, em 2016, a média de resíduos coletada *per capita* entre as cidades de Fortaleza e Caucaia foi de 1,1 kg/hab.dia. A taxa de coleta não foi alterada. Portanto, o cálculo para quantidade de resíduos gerada em Fortaleza e Caucaia é dado pela equação 8:

$$Q_{rsu} = Q_p \times Pop \quad (8)$$

onde:

Q_{rsu} = Quantidade de resíduos sólidos urbanos (t/dia);

Q_p = Quantidade coletada *per capita*;

Pop = População do ano em questão.

4.3.5. Estimativa de biogás gerado

Existem várias metodologias para estimar o biogás gerado em aterros sanitários, conforme Silva (2012), com equações matemáticas, cujos resultados servem para avaliar o potencial de geração de biogás assim como a viabilidade de projetos de aproveitamento do gás.

Para este trabalho, será utilizado um modelo de geração de biogás específico de acordo com CETESB (2006), com as seguintes equações 9, 10 e 11 em sequência:

$$\sum Q_x = k \cdot Lo \cdot \sum (R_x e^{-k(x-t)}) \quad (9)$$

$$\int \frac{dQ}{dt} = k \cdot R_x \cdot Lo \quad (10)$$

$$Q_x = k \cdot R_x \cdot Lo \cdot e^{-k(x-t)} \quad (11)$$

onde:

Q_x = vazão de metano (m³ CH₄/ano);

k = constante de decaimento (1/ano);

Lo = potencial de geração de biogás (m³/kg);

R_x = fluxo de resíduos (t/ano);

x = ano atual;

T = ano de deposição do resíduo.

Para a constante de decaimento, utiliza-se um valor pré estabelecido de 0,06/ano, conforme sugere Banco Mundial (2004) e, seguindo a mesma fonte, para Lo utiliza-se um valor pré estabelecido de 170m³/ton.

4.3.6. Potencial de geração de energia elétrica

O potencial de geração de energia elétrica através do biogás foi estimado pela equação 12 (PIÑAS et al., 2016):

$$P_x = \frac{Q_x \cdot P_c}{31.536.000} \times E_c \times \frac{k}{1.000} \quad (12)$$

onde:

P_x = potência disponível a cada ano (kW);

Q_x = vazão de metano a cada ano;

E_c = eficiência de coleta de gases (%);

31.536.000 = número de segundos em um ano (s/ano);

1/1000 = para transformação de unidade de J/s para kW;

K = 1,000;

P_c = poder calorífico do metano (35,53x10³ J/m³ CH₄).

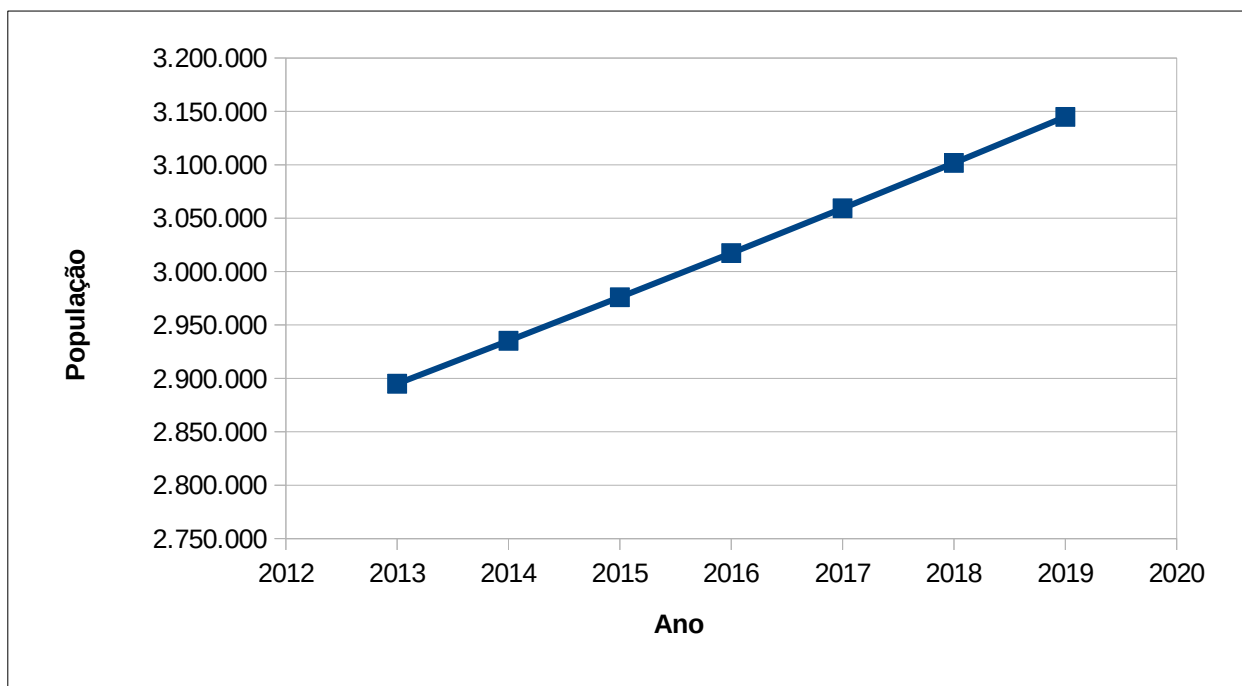
A fórmula supracitada expressa os resultados em kW/ano pesquisado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. População contribuinte

Foi calculada a projeção da população de Fortaleza e Região Metropolitana, pois essas são as regiões que contribuem diretamente para o ASMOC, de 2013 a 2019. O modelo de cálculo utilizado foi o presente no item 4.4.3. Essa projeção é mostrada na figura 6 abaixo, variando de 2.895.009 habitantes em 2013 a 3.144.867 habitantes em 2019, com um incremento médio anual de 35.693 habitantes.

Figura 6. Projeção populacional de Fortaleza e Região Metropolitana. Fonte: Autor



A estimativa populacional é apresentada ano a ano na tabela 7.

Tabela 7. Estimativa populacional para Fortaleza e Região Metropolitana – 2013 a 2019. Fonte: Autor

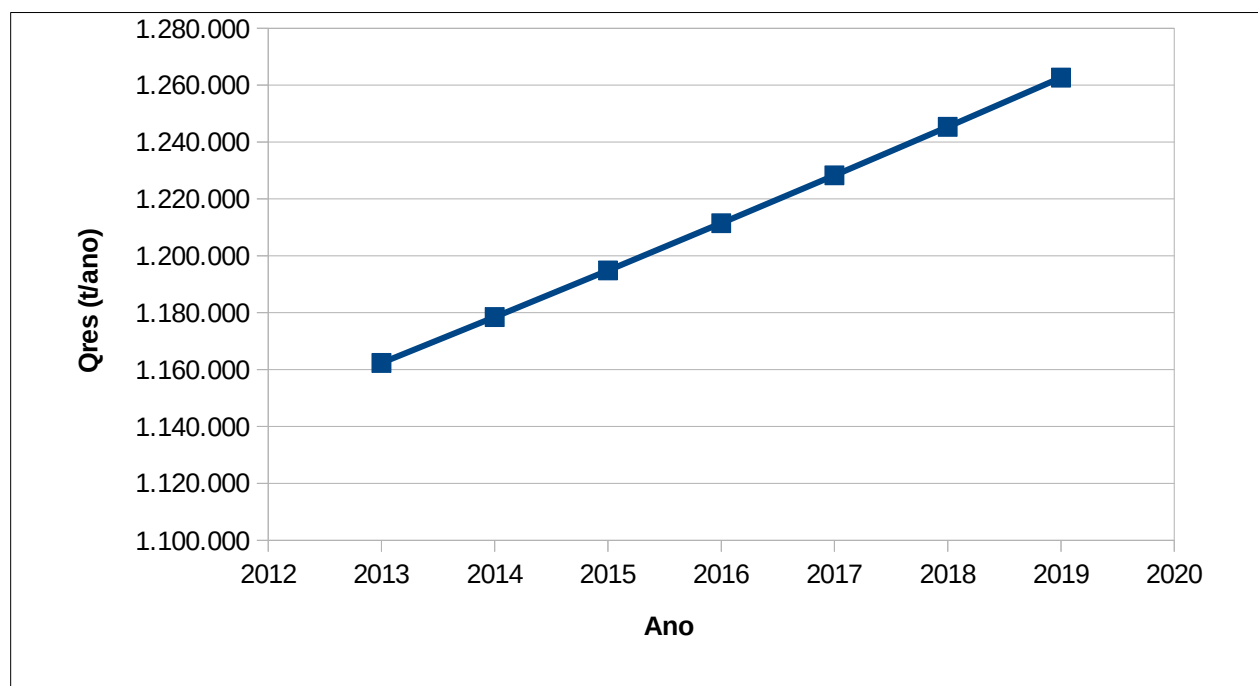
Ano	População
2013	2.895.009
2014	2.935.229
2015	2.976.007
2016	3.017.353
2017	3.059.272
2018	3.101.774
2019	3.144.867

5.2. Geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Foi feita a estimativa da geração de RSU, de 2013 a 2019, para o ASMOC. Os cálculos utilizados estão contidos no item 4.4.4. Na figura 7 é possível observar a projeção da geração de RSU entre 2013 e 2019. A taxa de produção de resíduo em

kg/hab*dia é de 1,1. Sendo assim, obteve-se o valor de 1.162.346 t/ano de resíduos gerados em 2013 e 1.262.664 t/ano em 2019.

Figura 7. Projeção de resíduos gerados em Fortaleza e Região Metropolitana. Fonte: Autor



A estimativa de geração de RSU é apresentada na tabela 8 abaixo.

Tabela 8. Estimativa de geração de resíduos para Fortaleza e Região Metropolitana – 2013 a 2019. Fonte: Autor

Ano	Qres (t/ano)
2013	1.162.346
2014	1.178.494
2015	1.194.867
2016	1.211.467
2017	1.228.298
2018	1.245.362
2019	1.262.664

Contudo, esses valores são de resíduos gerados, mas nem todo resíduo gerado chega de fato no aterro sanitário. Segundo ABRELPE (2017) a taxa de coleta de resíduos para o Nordeste é de 80% dos resíduos gerados. Sendo assim, para fins

de estimativas futuras, serão utilizados os dados de resíduos coletados para os anos em questão, descritos na tabela 9.

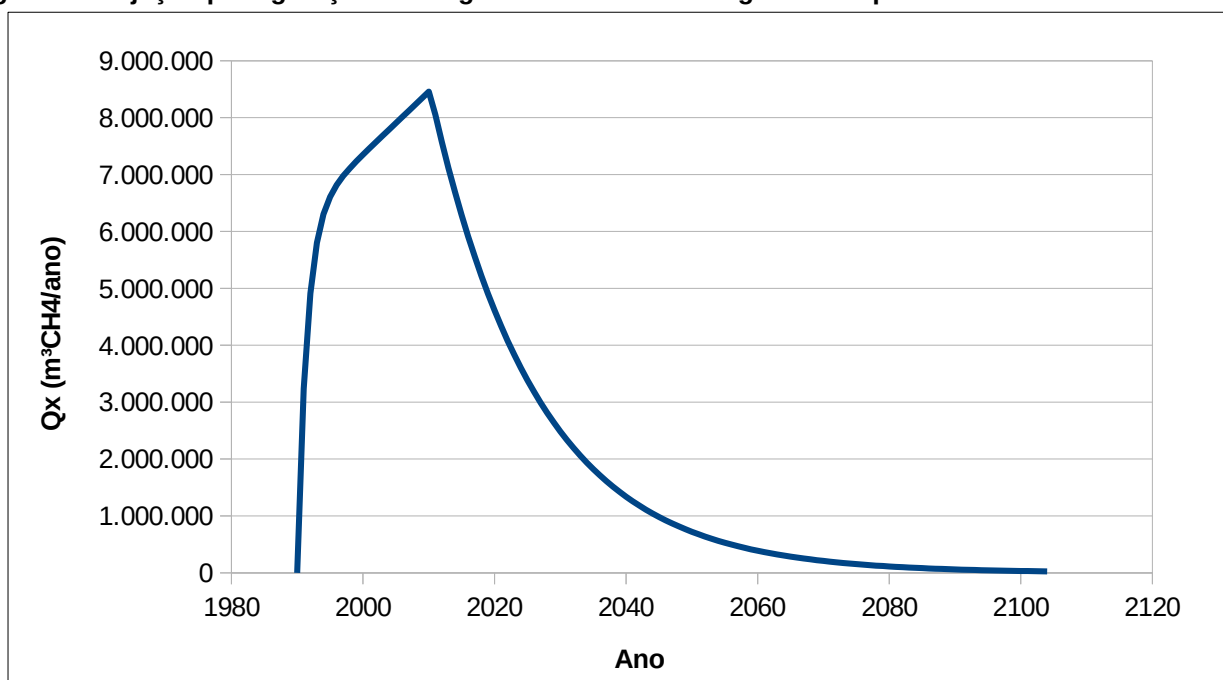
Tabela 9. Estimativa de resíduos coletados de resíduos para Fortaleza e Região Metropolitana – 2013 a 2019. Fonte: Autor

Ano	Qrcol (t/ano)
2013	929.877
2014	942.796
2015	955.893
2016	969.174
2017	982.638
2018	996.290
2019	1.010.131

5.3. Geração de biogás

Nesta seção, será apresentada a estimativa de produção de biogás relativa à Fortaleza e Região Metropolitana. Os valores das constantes de decaimento (k) e do potencial de geração do biogás (Lo) foram adotados e demonstrados no item 4.4.5. A projeção para a geração de biogás, em m^3CH_4/ano , está representada na figura 8.

Figura 8. Projeção para geração de biogás em Fortaleza e Região Metropolitana. Fonte: Autor



Para a projeção, foi adotado o período da primeira vida útil do aterro, que foi entre os anos 1990 e 2010. Essa data foi escolhida, pois além de ser a data da primeira vida útil, é a data que possui licenciamento ambiental de operação na Superintendência Estadual de Meio Ambiente do Ceará – SEMACE e, portanto, cumpre os requisitos legais para operação. Após essa data, o aterro vem sofrendo modificações e expansões do seu projeto original, para adequar-se à demanda crescente de resíduos, não possuindo até então renovação da licença de operação junto à SEMACE. O pico de geração de biogás apresenta-se logo após o encerramento das atividades do aterro, considerando o período da primeira vida útil, entre os anos 2010 e 2011, segundo o modelo adotado neste trabalho, com um consequente decaimento causado pela não deposição de resíduos e a decomposição dos resíduos já existentes nas células.

5.4. Estimativa da geração de energia elétrica

O potencial energético para o ASMOC entre os anos 2013 a 2019 encontra-se na tabela 10 abaixo, considerando-se a geração potencial de biogás, decorrente da disposição de resíduos.

Tabela 10. Potencial energético para o ASMOC. Fonte: Autor

Ano	Px (kWh/ano)
2013	3.617
2014	3.400
2015	3.196
2016	3.004
2017	2.824
2018	2.654
2019	2.495

O potencial de geração de energia elétrica variou de 3.617 kWh no ano 2013 a 2.495 kWh no ano 2019. Essa diminuição se dá pelo parâmetro utilizado no item 5.3. da presente seção, onde adotou-se a operação do ASMOC até 2010, conforme consta no projeto original. Sendo assim, naturalmente ocorreu uma diminuição na geração

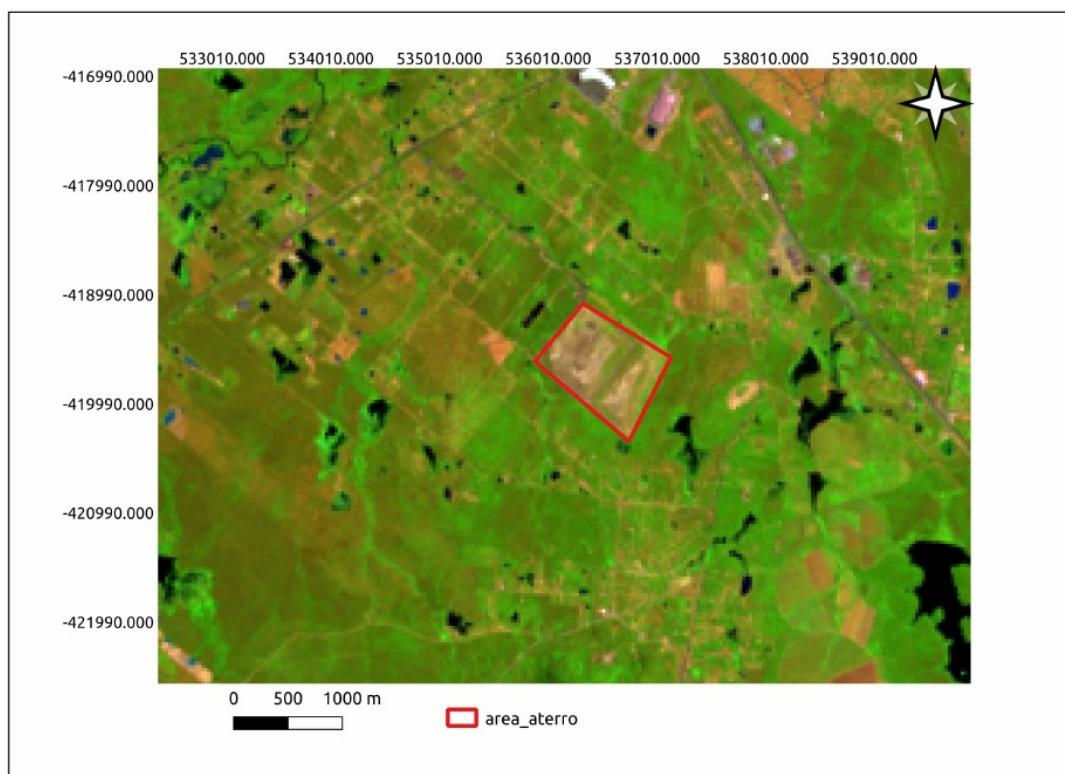
de biogás proveniente da redução da deposição de resíduos e por consequência a diminuição gradual do potencial de geração de energia elétrica, o qual está diretamente relacionado.

Segundo EPE (2013) em média, o consumo residencial de energia elétrica no Ceará no ano de 2013, que foi o ano onde estimou-se o maior potencial de geração de energia elétrica através do biogás foi de 124,2 kWh/mês. Sendo assim, com o potencial estimado para o ano de 2013, conforme tabela 10 e a soma dos 12 meses de consumo mensal de energia elétrica, pode-se estimar que uma possível usina de cogeração de energia elétrica no ASMOC conseguiria abastecer aproximadamente 2,5 residências durante o período de 12 meses.

5.5. Temperatura do solo

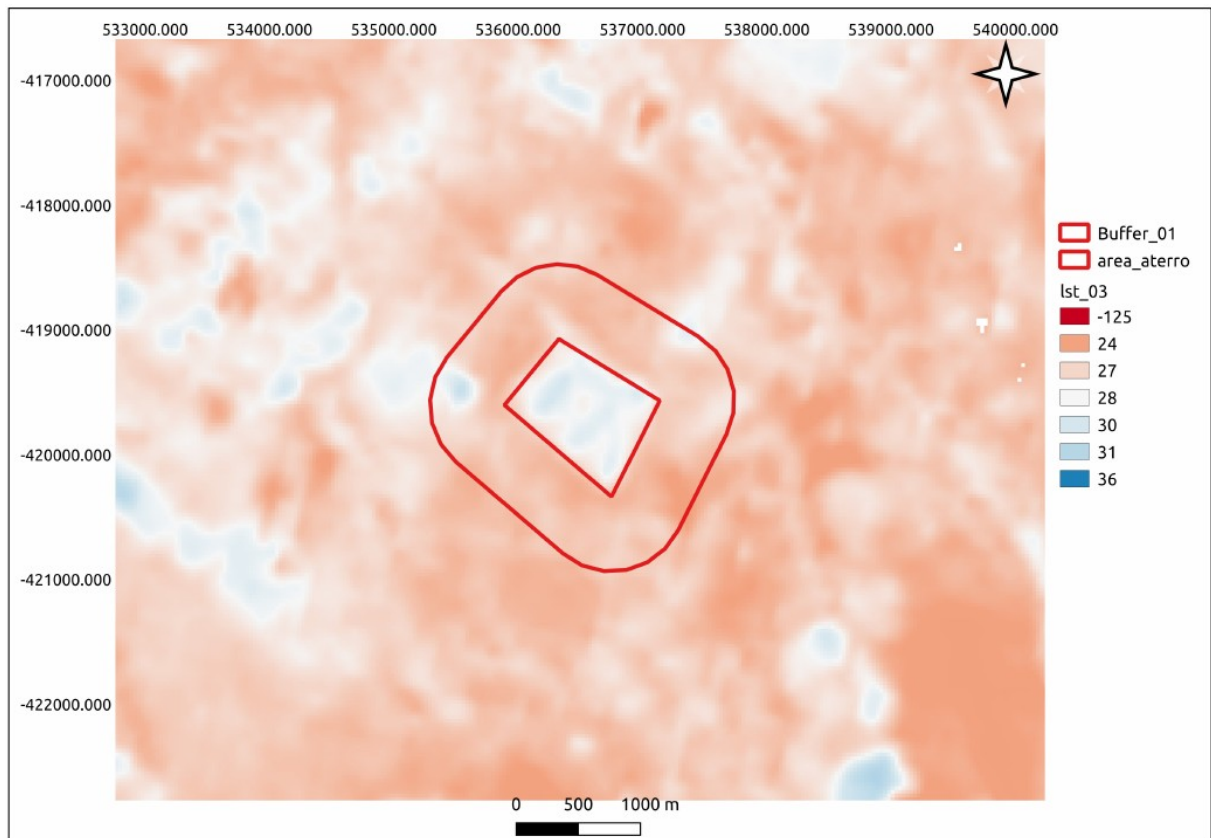
A temperatura de superfície do solo foi estimada conforme metodologia descrita no item 4.4. do presente trabalho. A figura 9 abaixo mostra a área do ASMOC com uma composição de cores e delimitação do perímetro do aterro.

Figura 9. Área do ASMOC com composição de cores. Fonte: Autor



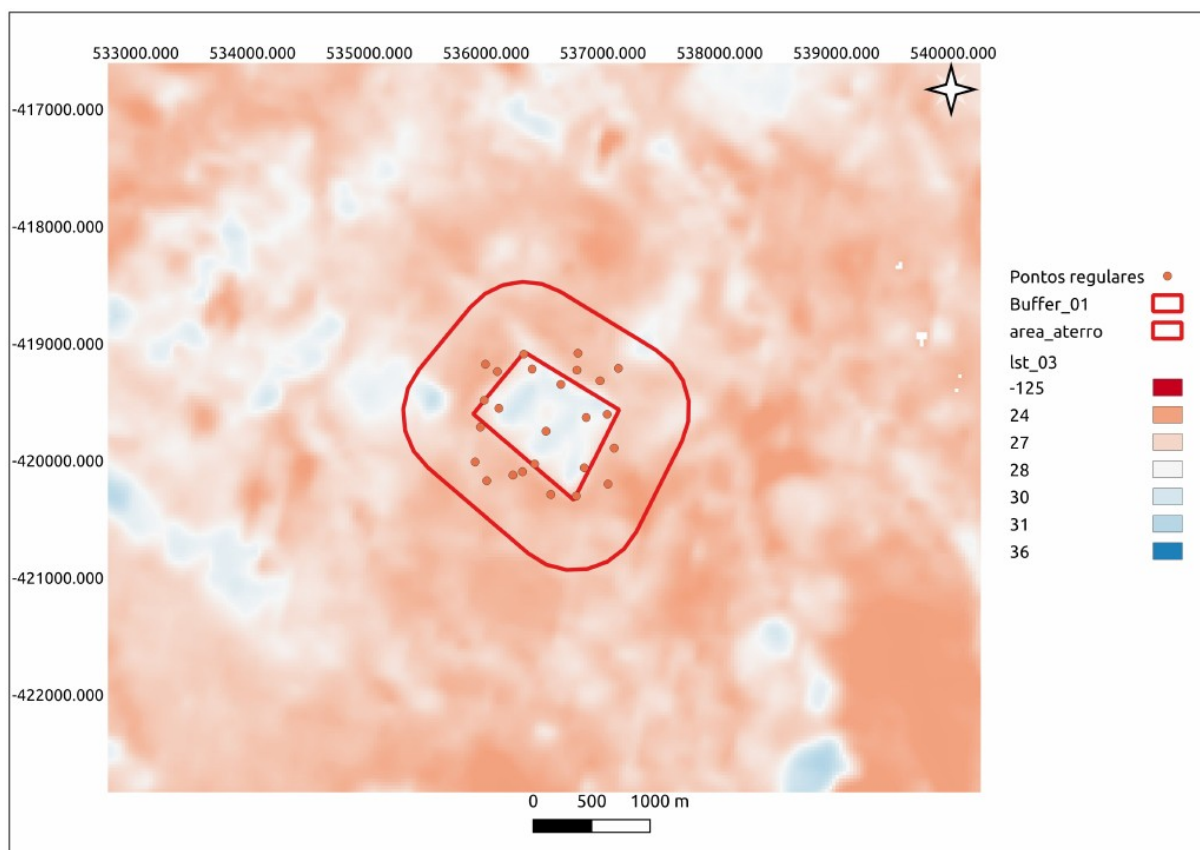
A figura 10 apresenta a delimitação do aterro com as temperaturas da superfície do solo em escala de cores. A temperatura máxima encontrada dentro do aterro foi de 32°C e a mínima de 27°C para o ano 2015.

Figura 10. Temperatura da superfície do solo. Fonte: Autor.



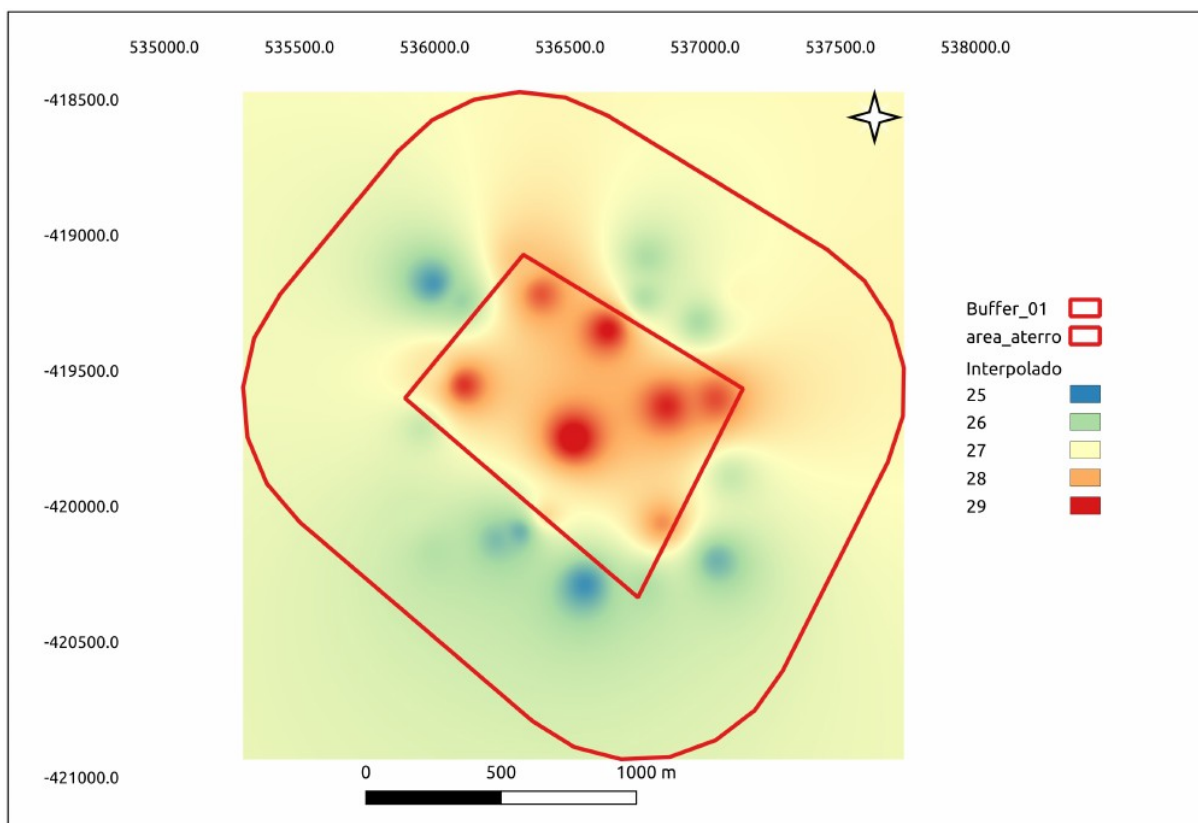
Na figura 11, estão as mesmas informações da figura 10, com acréscimo de pontos aleatórios, que foram gerados dentro e fora dos limites do aterro, no próprio software Qgis. Foram gerados no total 25 pontos, com um posterior processamento para extrair dados estatísticos como variância, média, moda e mediana, a partir dos valores de cada pixel da camada raster de temperatura.

Figura 11. Temperatura da superfície do solo com pontos aleatórios. Fonte: Autor.



Por fim, a figura 12 representa o mapa de interpolação dos pontos gerados dentro e fora do aterro. A interpolação utilizada para esse experimento foi a interpolação IDW ou ponderação IDW (ponderação pelo inverso da distância). Essa ferramenta, presente também no software Qgis, permite que a ponderação seja atribuída aos pontos amostrais através de um coeficiente de ponderação, que influencia diretamente o resultado da interpolação, fazendo com que quanto maior for o coeficiente de ponderação, o valor do ponto desconhecido será maior ao valor dos pontos conhecidos e vizinhos, sendo o inverso também verdadeiro. A escolha do método se deu pela proximidade de alguns pontos, pois como o modelo leva em consideração a distância para os pontos reais, acredita-se que dessa forma o resultado fica mais fiel à realidade. A interpolação foi executada a fim de satisfazer os resultados de várias imagens entre os anos de 2013 a 2019.

Figura 12. Interpolação IDW da área do aterro e vizinhança. Fonte: Autor.



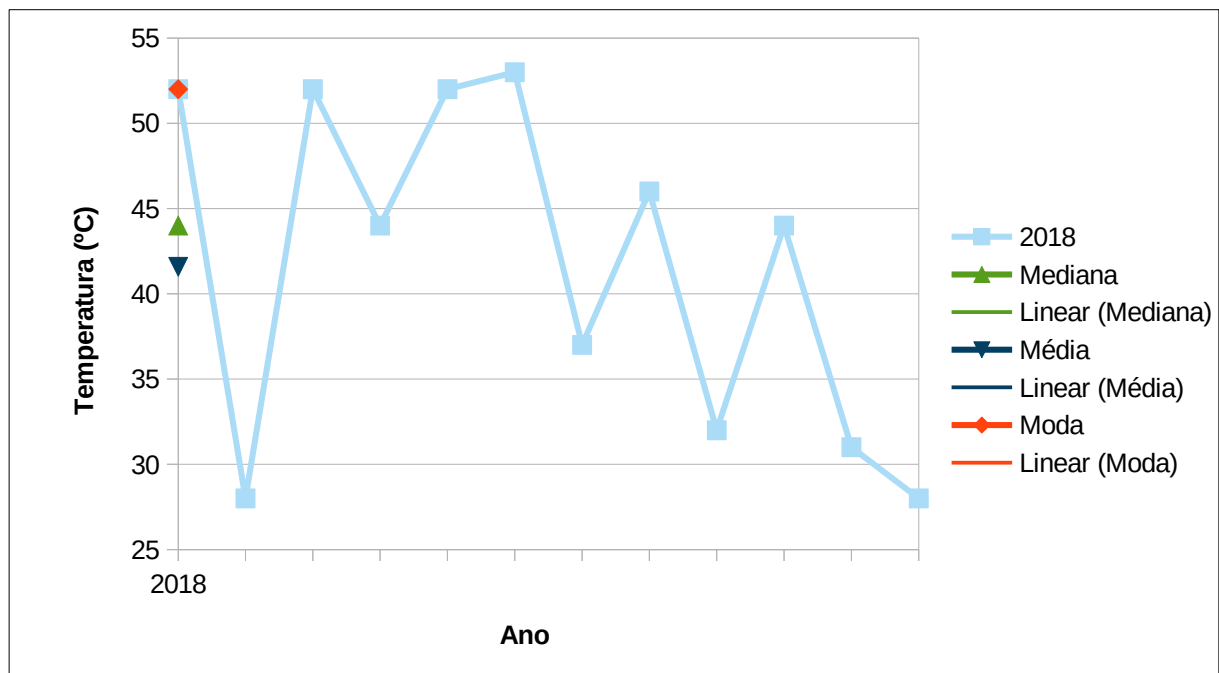
5.6. Temperatura do aterro

Para a temperatura do aterro (interior das células e superfície) foram obtidos dados do ano de 2018, com vários pontos dentro do limite do empreendimento. Foi selecionada uma amostra de 12 pontos, tendo em vista o grande número de pontos analisados. A temperatura máxima obtida foi de 54°C e a mínima de 26,5°C. A tabela 11 e a figura 13 abaixo expressam os valores de temperatura da amostra de 12 pontos escolhida aleatoriamente, juntamente com os parâmetros estatísticos de média aritmética, moda e mediana.

Tabela 11. Pontos de temperatura dentro do aterro. Fonte: ASMOC, 2019.

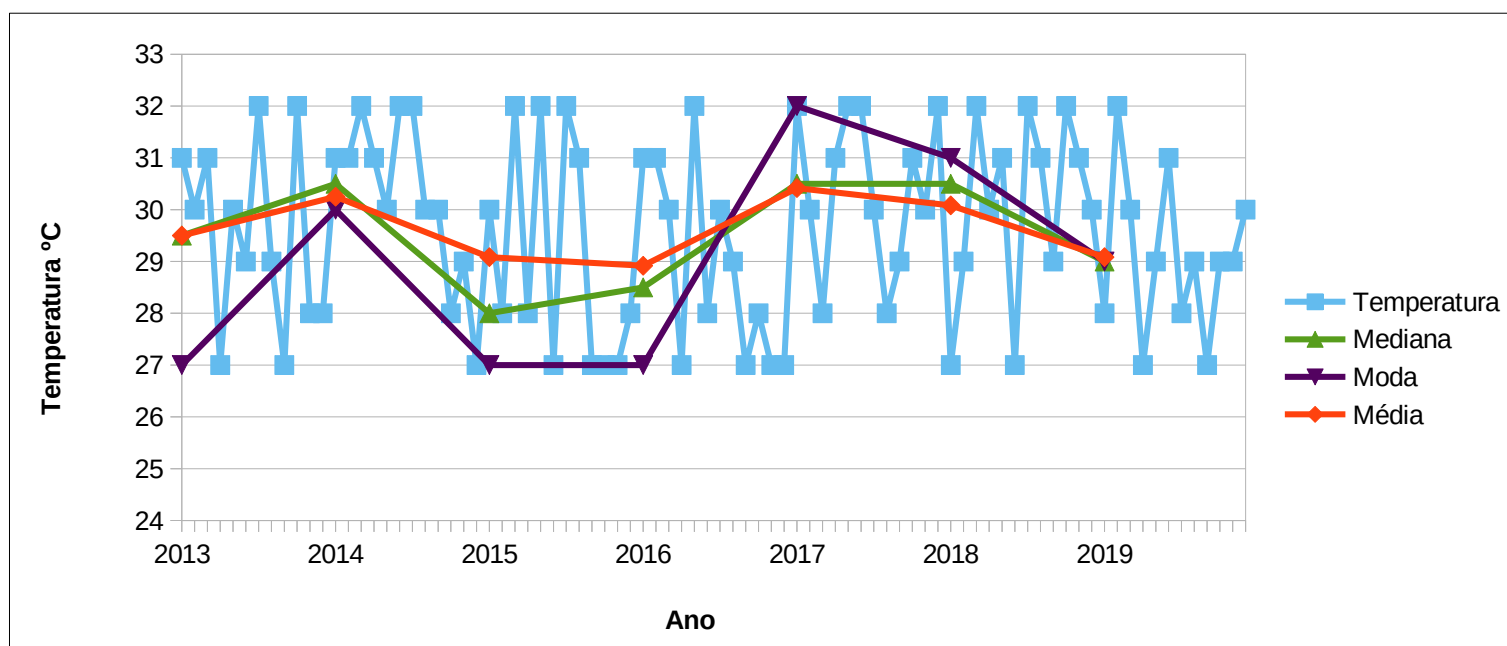
Ano	Temperatura	Aterro		
		Média	Moda	Mediana
2018	28	40,25	51	39
	53			
	30			
	40			
	38			
	51			
	32			
	36			
	51			
	44			
	27			
	53			

Figura 13. Pontos de temperatura dentro do aterro. Fonte: modificado de ASMOC, 2019.



Para os dados obtidos através do sensoriamento remoto e do geoprocessamento, foram utilizados também 12 pontos para os anos de 2013 a 2019, como critério de amostragem. A figura 14 retrata os valores obtidos para a temperatura da superfície do solo e os parâmetros estatísticos utilizados no exemplo anterior.

Figura 14. Pontos de temperatura da superfície do solo entre os anos 2013 a 2019. Fonte: Autor.



Foram utilizados 12 pontos para os anos amostrais, seguindo os critérios previamente informados. A temperatura mínima obtida foi de 27°C e a máxima de 32°C, sendo a média geral de 29,61°C.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise demográfica dos dados das projeções mostrou que Fortaleza e Região Metropolitana possuem em 2019 uma população que ultrapassa 3 milhões de habitantes. Esses mais de 3 milhões de habitantes são 100% da estimativa populacional do consórcio do ASMOC, que atende exclusivamente essa região.

A estimativa de geração de RSU seguiu a projeção populacional, tendo em 2019 uma geração estimada de 1 milhão e 200 mil toneladas por ano. Desse volume, apenas 80% é coletado, sendo portanto, utilizado para fins práticos o valor de 1 milhão e 10 mil toneladas por ano, que chegam efetivamente ao aterro sanitário.

Esse volume de resíduos coletados tem uma geração de biogás estimada em 4 milhões e 900 mil m³ de gás metano no ano de 2019. Todo esse biogás poderia gerar, em motores de combustão, cerca de 2.654 kWh por ano no ano de 2019. Essa energia, que hoje é coletada na forma de gás e distribuída como combustível (GNV) pela concessionária estadual (Cegás), poderia abastecer prédios públicos, residências de baixa renda ou até mesmo reduzir ou quiçá zerar o consumo de energia elétrica do próprio aterro.

Sendo o processo de decomposição anaeróbia, que transforma a matéria orgânica em biogás, uma reação que libera calor, a temperatura das células do aterro, assim como da superfície do solo por consequência, tendem a ser maiores que na vizinhança. As imagens de satélite mostraram esse efeito, sendo as temperaturas no interior do aterro até 5°C mais elevadas que no entorno. Mesmo com áreas de solo exposto, sem vegetação ou corpos hídricos, a temperatura no interior do ASMOC se manteve maior do que no exterior. Na validação dos dados, colheu-se temperaturas do interior das células, para comprovação do aumento dos valores devido à decomposição anaeróbia.

A temperatura do interior das células em comparação com a da superfície do solo foi maior em média 12°C, validando a técnica aplicada neste trabalho como ferramenta de análise indireta da geração de biogás e do potencial elétrico que está contido nos locais de geração do gás.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a averiguação dos fatores que levam à dissipação do calor no interior da célula para a superfície do solo, a variação da influência da composição gravimétrica dos RSU na geração de biogás e no potencial elétrico, a influência da tarifa energética para viabilização de empreendimentos de aproveitamento do biogás com fins energéticos e também outros modelos de geração de biogás e sua conversão para energia elétrica.

Recomenda-se também o estudo da eficiência energética em vários modelos de motores elétricos e a influência do mapeamento das tubulações de drenagem do biogás na verificação, concentração e distribuição desse gás ao longo da rede até os pontos de geração de energia ou até do consumidor final.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 8419 Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. p. 1–7, 1992.
- ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. 2015.
- ABRELPE. Panorama 2017. v. 15, p. 74, 2017.
- ANEEL. **Banco de Informações de Geração**, 2016. Disponível em: <www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/CombustivelPorClasse.cfm?Classe=Biomassa>
- ARAÚJO, A. P. C. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico ana paula caixeta araujo**. [s.l.] Universidade Federal de Uberlândia, 2017.
- BANCO MUNDIAL. **Manual para a preparação de gás de aterro sanitário para projetos de energia na América Latina e Caribe**. Ontario: [s.n.].
- BARROS, R. T. DE V. **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012.
- BORATTO, I. M. D. P.; GOMIDE, R. L. **Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**2013Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/956305/1/Aplicacaoindices.pdf>>
- BRASIL. **Lei nº 12.305/2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos** Brasília, 2010a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 2 out. 2019.
- BRASIL, M. DAS C. S. N. DE S. A.; SNIS, S. N. DE I. SOBRE S. –. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/residuosSolidos/index#>>.
- BRASIL, M. DO M. A. **Resolução CONAMA nº 408**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <http://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-408-2009_110468.html>.
- BRASIL, M. DO M. A. **Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo , esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD**, 2010b. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033201.pdf>
- CAUCAIA. **Lei nº 1.367/2001. Institui a Política Ambiental Municipal**. Caucaia, 2001. Disponível em: <<http://www.caucaia.ce.gov.br/index.php?tabela=pagina&acao=oficiais>>. Acesso em: 3 nov. 2019.
- CEARÁ, G. DO E. DO. **Lei nº 16.032/2016. Institui a Política Estadual de Resíduos**

Sólidos. p. 1–17, 2016.

CETESB. **Biogás: geração e uso energético** São Paulo, 2006.

CHERNICHARO, C. A. DE L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.

CHOWDHURY, S.; CHOWDHURY, S. P.; CROSSLEY, P. **Microgrids and active distribution networks**. London: The Institution of Engineering and Technology, 2009.

DAMIAN, J. M. **Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada (Ndvi) Para Definição De Zonas De Manejo E Monitoramento Da Variabilidade Da Sucessão Aveia Preta/Soja**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

EDUARDO, C. et al. Produção de biogás em áreas de aterros sanitários: uma revisão. **Revista Liberato**, v. 16, p. 19, 2015.

ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas - SP**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2003.

EPE. **Balanco energético nacional**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.google.com/urlsa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjCnvPs78fgAhVFuVkkHT9TCHUQFjAAegQICxAB&url=http%3A%2F%2Fwww.epe.gov.br%2Fpt%2Fpublicacoes-dados-abertos%2Fpublicacoes%2Fbalanco-energetico-nacional-2018&usg=AOvVaw30yV8kDvMeuRRVXE-MKc3M>>.

FILHO, FRANCISCO ORLANDO HOLANDA COSTA; LIMA, THALES BRUNO RODRIGUES; PINHEIRO, M. I. T. DIAGNOSIS OF THE CURRENT GRANTS OF WATER USE IN THE. **Revista Conexões**, v. 12, n. January, p. 55–60, 2017.

FORTALEZA. **Lei nº 10.340/2015. Institui a Política Municipal de Resíduos Sólidos**. Fortaleza, 2015. Acesso em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/legislacao-especifica/lei_n%C2%BA_10.340_de_28_de_abril_de_2015.pdf> Acesso em: 5 jul. 2018.

GALLO, K.; XIAN, G. Application of spatially gridded temperature and land cover data sets for urban heat island analysis. **Urban Climate**, v. 8, p. 1–10, 2014.

GOMES, G. V; SUDA, S. J. Estudo da produção de energia elétrica a partir de biogás com e sem purificação de estação de tratamento de esgoto. v. 03, p. 899–919, 2017.

GONÇALVES, C. S. Avaliação do Potencial de Geração de Biogás a partir de Resíduos de Boviniculturas na Área Metropolitana do Porto. **In Vitro**, p. 135, 2010.

GONÇALVES, M. N. **OS EFEITOS DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM BIODIGESTORES**. [s.l.] Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

IBGE. **Censo 2010**, 2010.

ILHA DA SILVA, MARLINE; BORTOLI, Á. L. DE. **Modelagem e simulação do processo de formação do biogás**. XXXVII CNMAC. **Anais...**2018Disponível em: <<https://proceedings.sbmec.org.br/sbmec/article/view/2078>>

KRÜGER, E. L.; MINELLA, F. O.; RASIA, F. Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. **Building and Environment**, v. 46, n. 3, p. 621–634, 2011.

LIMA, A. DE et al. Análise da recuperação energética do biogás de aterros sanitários 2 . Histórico sobre disposição final de resíduos sólidos e das políticas. **Revista InterfaceEHS**, v. 12, n. 1, p. 68–81, 2017

MAGALHÃES, IVO AUGUSTO LOPES; JOR, OSMASR ABÍLIO DE CARVALHO; SANTOS, A. R. DOS. Análise comparativa entre técnicas de sensoriamento remoto para mensuração da vegetação urbana no município de Alegre, ES. **Revista cerrados**, v. 15, n. 24482692, p. 156–177, 2017.

MARQUES, R. Impactos Ambientais da Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos no Solo e na Água Superficial. **Dissertação (Mestrado)**, p. 96, 2011.

MEDEIROS, CLEYBER NASCIMENTO DE; SOUZA, M. J. N. DE. Revista Brasileira de Geografia Física. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 01, n. 1984–2295, p. 25–40, 2015.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. DE. **Introdução ao processamento de imagem de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB, 2012.

MUNIZ, R. A. et al. Dinâmica Espaço-Temporal Da Temperatura De Superfície , Da Bacia Do Rio Corumbataí , Sp Utilizando Imagens Do Sensor Tm / Landsat. **Energia na Agricultura**, v. 31, n. August, p. 169–177, 2016.

NOVO, E. M. L. DE M. **Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações**. 4^a ed. [s.l.] Blucher, 2010.

PERUZZO, V. V. **UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**. [s.l.] Universidade de Caxias do Sul, 2017.

PIÑAS, J. A. V. et al. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: Comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 33, n. 1, p. 175–188, 2016.

RIBEIRO, D. F. **Avaliação dos aspectos estruturais e operacionais em cinco aterros sanitários , localizados nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo Rio de Janeiro**. [s.l.] Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2016.

RIBEIRO, G. DE A.; SILVA, J. N. DE C.; SILVA, J. B. DA. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS): estado da arte e suas potencialidades. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 6, p. 2054–2074, 2016.

SANTANA, E. F. et al. Multispectral image unsupervised segmentation using watershed transformation and cross-entropy minimization in different land use. **GIScience & Remote Sensing**, v. 51, n. 6, p. 613–629, 2014.

SILVA, Marline Ilha da; DE BORTOLI, Álvaro Luiz. Modelagem e simulação do processo de formação do biogás. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**. São José dos Campos: SBMAC, 2017, 2018. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/204622/001109041.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 6 jun. 2019.

SILVA, T. R. **Metodologia para a determinação teórica da potência ótima conseguida a partir da combustão do biogás gerado em aterro sanitário: Estudo de caso do aterro sanitário de Itajubá-MG**. [s.l.] Universidade Federal de Itajubá, 2012.

SOUZA, J. F. DE; SILVA, R. M.; SILVA, A. M. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa – PB. **Ambiente construído**, v. 16, p. 21–37, 2016.

SURENDRA, K. C. et al. Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 31, p. 846–859, 2014.

SURVEY, U. S. G. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. **America**, v. 8, n. 1993, p. 1993–1993, 2005.

VIEIRA, Gláucia Eliza Gama et al. Produção de biogás em áreas de aterros sanitários: uma revisão. **Revista Liberato**, v. 16, n. 26, p. 193-204, 2015.

VOIVONTAS, D.; ASSIMACOPOULOS, D.; KOUKIOS, E. G. Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. **Biomass & Bioenergy**, v. 20, p. 101–112, 2001.

YEUNG, W. et al. Analysis of multi-temporal landsat satellite images for monitoring land surface temperature of municipal solid waste disposal sites. **Environmental monitoring and assessment**, v. 186, p. 8161–8173, 2014.

ZHENG, C. W.; PAN, J. Assessment of the global ocean wind energy resource. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 33, p. 382–391, 2014.