

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

ANDRÉ GARCIA SCHMIDT

**ANÁLISE PRELIMINAR DA IMPLANTAÇÃO DE UNIDADE DE RECUPERAÇÃO
ENERGÉTICA EM ALTERNATIVA AO ATERRAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO
URBANO EM BELO HORIZONTE**

Belo Horizonte

2020

ANDRÉ GARCIA SCHMIDT

**ANÁLISE PRELIMINAR DA IMPLANTAÇÃO DE UNIDADE DE RECUPERAÇÃO
ENERGÉTICA EM ALTERNATIVA AO ATERRAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO
URBANO EM BELO HORIZONTE**

Monografia apresentada ao programa de Especialização do Departamento de Engenharia Elétrica – DEE, no curso Especialização em Fontes Renováveis – Geração, Operação e Integração da Escola de Engenharia, da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para a obtenção do certificado de Especialista em Fontes Renováveis.

Linha de Pesquisa: Cogeração,
Biomassa

Orientador: Danilo Iglesias Brandão

BELO HORIZONTE

2020



ATA DA DEFESA

“Análise preliminar da implantação de unidade de recuperação energética em alternativa ao aterramento de resíduo sólido urbano em Belo Horizonte”.

ANDRE GARCIA SCHMIDT

Trabalho Final defendido perante a banca examinadora, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de “Especialista em Fontes Renováveis – Geração, Operação e Integração”

Aprovada em 21 de setembro de 2020

Por:

Prof. Dr. Danilo Iglesias Brandao -
Avaliador 1 – Orientador

Nota: 90

Prof. Dr. Luís G. Monteiro de Oliveira
Avaliador 2

Nota: 90

Secretaria de Curso de Especialização em
Fontes Renováveis - Geração, Operação
e Integração

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família: pai, mãe, Jussara, Rafael, avó Lia e a minha amada Joana, que por vezes me apoiaram em minhas escolhas e me deram suporte para seguir em frente.

“Este trabalho foi idealizado a partir de experiências acadêmicas e profissionais do discente com os temas “Resíduos Sólidos Urbanos” e “Geração Distribuída de Energia Elétrica”, buscando conciliar assuntos estratégicos para a sociedade em favor do desenvolvimento sustentável e econômico.”

Autor

RESUMO

A sociedade contemporânea apresentou nas últimas décadas um aumento na produção de resíduos sólidos urbanos. Observa-se tal condição pelo crescimento populacional e pelo modo de consumo baseado em aumento do uso de bens não duráveis. Os resíduos gerados por habitantes de um grande centro urbano são, em sua grande parcela, enviados para unidades de processamento com disposição final no solo, em aterros sanitários, aterros controlados ou lixões. Em Belo Horizonte (BH) o lixo urbano, seja ele de composição orgânica, reciclável, construção civil, entre outros, é transportado para a Central de Tratamento de Resíduos Macaúbas, localizada em Sabará. No cenário nacional foi promulgada, em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, lei federal que, entre outras disposições, obriga os municípios a promover a gestão correta dos resíduos sólidos atribuindo prazos para extinção dos lixões e criando dispositivos que visam auxiliar os gestores municipais a aplicar a política de maneira efetiva. Uma alternativa para o correto tratamento dos resíduos sólidos urbanos é o processamento do lixo em Unidades de Recuperação Energética (URE) - centrais térmicas de incineração do resíduo que têm como produto a energia, conhecidas pelo termo WTE – *Waste to Energy*. Essa solução é difundida em países europeus, na China e no Japão, sendo dotada de tecnologia reconhecidamente eficaz para o que se propõe: destruição do resíduo e geração de energia elétrica e térmica. O presente trabalho tem por objetivo compreender a dinâmica da gestão de resíduos sólidos urbanos: produção, coleta, transporte e destino, no município de Belo Horizonte; empreendendo análise para alternativa de tratamento do RSU em uma unidade de recuperação energética. Para avaliação dos objetivos específicos, foram considerados dados do sistema de informações geográficas de BH e de contratos vigentes entre a administração municipal e prestadores de serviço, no que concerne à população residente nas regiões administrativas, a quantidade de resíduos domésticos produzidos, a distância de transporte entre a coleta domiciliar e o aterro sanitário, assim como dos custos associados aos serviços prestados. No contexto da geração distribuída de energia, avaliou-se a possibilidade de implantação de uma usina WTE no centro urbano, em zona selecionada no município de Belo Horizonte, de maneira a reduzir os custos financeiros e ambientais do transporte diário de resíduos sólidos desde a coleta até o aterro sanitário, produzindo energia a partir de uma fonte renovável e minimizando a emissão de gases de efeito estufa provenientes do aterramento. A partir dos resultados obtidos para o sistema de gestão atual do RSU e a alternativa de destinação para uma URE, foi possível estabelecer comparativo que demonstrou equiparação econômica e financeira entre as duas soluções de tratamento do resíduo sólido urbano.

Palavras-chave: Resíduo Sólido Urbano. Recuperação energética. Geração distribuída.

ABSTRACT

Through the last decades, the contemporary society has shown an increase in production of municipal solid waste (MSW). This condition can be explained by the population growth and the economy based on large consumption of non-durable goods. Waste produced by population in a metropole is, for the most part, sent to processing units for final ground disposal, in landfills or dumps. The municipal waste of Belo Horizonte (BH), either organic, recyclable, from civil construction, or others, are transported to the Macaúbas Waste Treatment Center, located in the city of Sabará. In 2010 the National Solid Waste Policy was published, a federal law that, among other provisions, started requiring cities to promote correct management of solid waste setting targets and deadlines to eliminate dumps and creating means to help authorities to apply the policy effectively. As an alternative for the correct treatment of urban solid waste emerges as an option the Waste to Energy (WTE) Power Plants – waste incineration plants whose product is energy. This solution is widely used in European countries, China and Japan, with technology known to be effective for what it proposes: waste destruction as well electric and thermal energy generation. This document aims to understand the dynamics of urban solid waste management: production, collection, transportation and destination, in the city of Belo Horizonte; and analyzing an alternative treatment of MSW in an energy recovery unit. To achieve the goals of this paper, data from the geographical information system of BH and existing contracts between the municipal administration and service providers were assessed, been considered the population residing in the administrative regions, amount of domestic waste produced, transportation between residential collection and the landfill, as well as the costs associated with the services provided. The feasibility of implementing a WTE plant from the distributed energy systems context in the urban area of Belo Horizonte, was evaluated in order to reduce the financial and environmental costs of daily transport of solid waste, producing energy from a renewable source and minimizing the emission of greenhouse gases by the landfill. Based on results obtained for the current MSW management system and the alternative destination for a WTE plant, it was possible to establish a comparison that demonstrated economic and financial equivalence between the two municipal solid waste treatment solutions.

Keywords: Municipal Solid Waste. Energy recovery. Distributed generation systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	População de Belo Horizonte.....	24
Figura 2	Regiões administrativas de BH.....	26
Figura 3	Localização da CTR Macaúbas em Sabará.....	27
Figura 4	Lote 1/Regiões administrativas: Barreiro, Oeste, Centro-Sul.....	31
Figura 5	Bairro Olhos D'água, localização sugerida para URE.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Distância entre centro de BH e aterros sanitários.....	25
Tabela 2	Distância média de transporte do RSU em BH.....	27
Tabela 3	Extensão total percorrida (média mensal) para coleta de RSU.....	28
Tabela 4	Distância média de transporte - Lote 1.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS

ABREN - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS

ACL - AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE

ACR - AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO REGULADA

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO

BH - BELO HORIZONTE

CTR - CENTRAL DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS

CGH - CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA

DMT - DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE

FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE

GD - GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

GEE - GASES DO EFEITO ESTUFA

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

IPCA - ÍNDICE NACIONAL DE PREÇOS AO CONSUMIDOR AMPLO

km - QUILOMETROS

kW - QUILOWATT

MW - MEGAWATT

PBH - PREFEITURA DE BELO HORIZONTE

PMGIRS-BH - PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE BELO HORIZONTE

PNRS - POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

RA - REGIÃO ADMINISTRATIVA

RS - RESÍDUO SÓLIDO

RSU - RESÍDUO SÓLIDO URBANO

SIG - SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

SLU - SUPERINTENDENCIA DE LIMPEZA URBANA

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO

ton - TONELADA

UE - UNIÃO EUROPEIA

UFRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

URE - UNIDADE DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA

WTE - *WASTE TO ENERGY*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos.....	15
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo geral.....	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 Justificativa	17
1.4 Organização da Dissertação.....	17
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 Resíduos Sólidos Urbanos.....	19
2.2 Geração Distribuída	20
2.3 Revisão de Literatura.....	21
3 METODOLOGIA.....	23
3.1 População de Belo Horizonte.....	23
3.2 Produção de RSU	24
3.3 Destinação do RSU	25
3.4 Gestão Atual do RSU.....	26
3.5 Custos Envolvidos Com a Gestão de RSU	29
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
4.1 Análise da Implantação de URE	31
4.1.1 Alternativa técnica locacional	31
4.1.2 Distância média de transporte para URE	33
4.1.3 População atendida pela URE	33
4.1.4 Estimativa de RSU tratados na URE.....	33
4.1.5 Custos e receitas envolvidos com a implantação da URE.....	34
4.1.6 Comparativo URE Olhos D'água e CTR Macaúbas	35
5 CONCLUSÕES	36

6 REFERÊNCIAS	37
----------------------------	-----------

1 Introdução

A crescente urbanização e aumento dos bens de consumo em nosso país nas últimas décadas promoveram, de modo equivalente, incremento na problemática da gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU), principalmente nas grandes metrópoles, a exemplo da produção diária de aproximadamente duas mil toneladas de resíduos sólidos domiciliares em Belo Horizonte (PMGIRS, 2016), o que demanda uma gestão que garanta coleta, transporte e destinação final adequados.

O presente trabalho propõe investigações quanto a atual política pública e gerenciamento dos RSU – responsabilidade dos municípios, expondo oportunidades e custos relacionados à adoção de aproveitamento energético em usinas WTE (do inglês, “*Waste To Energy*”), com a geração de energia a partir do lixo.

O processamento de resíduos em uma Unidade de Recuperação Energética (URE) está submetido a rigorosos controles ambientais de emissão de gases tóxicos e mal odor (ABREN, 2019). Unidades geradoras de energia a partir do lixo urbano contemplam não apenas uma fonte renovável e limpa de energia, como também uma solução ambientalmente correta no tratamento do RSU. O estudo desenvolvido expõe alternativa de geração de energia com RSU em um grande centro urbano – cidade de Belo Horizonte, observando a possibilidade de aplicação em micro redes ou centrais de pequeno porte no contexto de geração distribuída.

A partir da análise dos dados obtidos junto ao executivo municipal, pôde ser avaliada a instalação de planta de geração distribuída de energia elétrica contemplando determinadas regiões administrativas do município. O resultado deste trabalho acadêmico indica um critério para o planejamento urbano de cidades em desenvolvimento, que permita reduzir o tráfego de veículos que transportam RSU – promovendo economia, contendo dessa forma o depósito em aterros sanitários – aumentando sua vida útil, e produzindo um insumo valioso como a energia a partir de fonte “gratuita” e renovável.

Reflexões como as que se apresentam no presente trabalho permitem que a administração pública dos municípios reavalie planos e políticas de gestão dos resíduos sólidos urbanos. Uma unidade de recuperação energética que promova o tratamento térmico de diversos tipos de resíduos urbanos deve ser considerada em uma análise dos gestores públicos como uma opção para empreender melhorias na logística de coleta e transporte, reduzir o volume de RSU enviado diariamente aos aterros sanitários, reduzir emissões atmosféricas provenientes da decomposição do lixo, melhorar a qualidade ambiental do solo e dos recursos hídricos, incrementar a geração distribuída de energia elétrica próxima ao consumo dos centros urbanos.

A partir de pesquisa bibliográfica e acesso a dados secundários, tais como informações geográficas relacionadas a coleta e transporte, quantidade coletada e tratada, e valores dos contratos de aterramento de RSU, foi possível neste trabalho qualificar o atual método de tratamento de resíduos sólidos urbanos utilizado no município.

Foram avaliados aspectos relacionados ao sistema de gestão dos resíduos no município de Belo Horizonte, composto neste tocante pela coleta de resíduo doméstico e distância média de transporte (DMT) à central de tratamento de resíduos, dados obtidos do projeto básico da Superintendência de Limpeza Urbana (SLU). Ainda, foi realizado levantamento da população residente no Lote 1, regiões administrativas (RAs) com maior DMT, e estimativa de produção de resíduos por essas RAs: Barreiro, Oeste e Centro-Sul – dados coletados da plataforma *BH Map*. Por fim foram pesquisados os custos relacionados à atual gestão, valores obtidos a partir dos contratos de prestação de serviço de coleta, transporte e disposição final. Analisar a alternativa de processamento do RSU por meio do tratamento térmico, tendo como produto a energia elétrica ou térmica.

1.1 Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos

O modelo de consumo da sociedade moderna conduz a um progressivo incremento na produção e descarte de resíduos, sejam estes de origem doméstica, industrial, comércio e serviços, hospitalar, construção civil, entre outros, de diversas classificações quanto ao grau de perigo ao meio ambiente.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - Resíduos Sólidos do Ministério de Desenvolvimento Regional (BRASIL, 2018), constata-se a predominância de processamento de RSU do conjunto formado pelas unidades por disposição no solo (aterros sanitários, aterros controlados e lixões) representando 55,8% do total de unidades em operação nos municípios brasileiros participantes, sendo do total de unidades de processamento 26,5% declaradas como lixões.

Percebe-se que as alternativas selecionadas pela administração pública no Brasil para a destinação final dos resíduos sólidos urbanos, seja pela falta de recursos ou pela gestão ineficaz, apresenta consequências negativas ao meio ambiente: poluição atmosférica, do solo e dos corpos hídricos, impacto na saúde pública e desvalorização imobiliária da vizinhança do local de disposição final de resíduos (MORAIS et al., 2019).

Em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, regida pela Lei nº 12.305/2010, deve ser considerada na gestão de resíduos sólidos urbanos a hierarquia de prioridades na destinação do RSU, qual seja: *i)* reutilização, *ii)* reciclagem, *iii)* compostagem, *iv)* recuperação e aproveitamento energético, *v)* disposição final ambientalmente adequada.

A lei promulgada trouxe a experiência de outros países que aplicam tal hierarquia e estão mais avançados que o Brasil no quesito do tratamento do RSU.

Tendo como referência o artigo *Status and Opportunities for Energy Recovery from Municipal Solid Waste in Europe*, com revisão bibliográfica abordada neste trabalho, o qual discute o potencial de novas usinas de recuperação energética de resíduos na comunidade europeia, para este estudo foram avaliadas geograficamente as zonas de produção de resíduos sólidos urbanos em um grande centro – Belo Horizonte, o deslocamento desses resíduos no município e a oportunidade de geração distribuída de energia em planta de tratamento térmico por incineração do RSU com aproveitamento energético.

Portanto, pretende-se realizar uma análise dos aspectos relevantes da gestão de resíduos sólidos urbanos em um contexto de oportunidade de geração distribuída de energia em planta de usina termoelétrica próxima (ou dentro) do centro urbano, sendo utilizado como estudo de caso o município de Belo Horizonte.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é compreender a logística, métodos, dinâmica e custos envolvidos com a gestão municipal de coleta, transporte e tratamento de RSU adotado com disposição em aterro sanitário, e promover uma análise preliminar dos aspectos relacionados ao tratamento de RSU por incineração com aproveitamento energético em uma planta no centro urbano, próxima aos locais de produção do insumo (lixo) e do consumo de energia, verificando a oportunidade de implantação de URE a partir de RSU em Belo Horizonte.

1.2.2 Objetivos específicos

Com o intuito de atingir o objetivo geral, estão abaixo relacionados os objetivos específicos deste trabalho:

- Estabelecer a quantidade de RSU disponível em uma zona da cidade para fins de geração de energia;
- Levantar os custos envolvidos com o modelo atual de tratamento de RSU – disposição em aterro sanitário (aterragem);
- Sugerir alternativa locacional para implantação da URE;
- Analisar os custos e oportunidades de implantação da URE no centro urbano;

1.3 Justificativa

Em diversas sociedades contemporâneas, inclusive no Brasil, os resíduos sólidos urbanos representam grandes preocupações ambientais. Os RSU podem ter origem nas atividades domiciliares e na limpeza de vias públicas, e a falta de gestão adequada destes pode provocar sérios danos ao ambiente e à sociedade (MORAIS et al., 2019).

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2019), das 72,7 milhões de toneladas de RSU coletados no Brasil em 2018, quase 60% tiveram tratamento adequado sendo destinados à aterros sanitários. Por outro lado, a disposição final incorreta em lixões e aterros controlados representa mais de 80 mil toneladas diárias de resíduos sólidos.

De acordo com a Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos (ABREN, 2019), diversos países têm adotado a implantação unidades de processamento do RSU por combustão com aproveitamento energético, na forma de calor e eletricidade, como uma das medidas para lidar com a gestão de resíduos, visando reduzir custos, mitigar impactos ambientais provenientes de outras formas de tratamento e produzir subprodutos como energia (elétrica e térmica).

Empreendimentos de geração de energia a partir da incineração do lixo urbano, compreendendo o conceito de *mass burning* - combustão em grelhas móveis, não são uma realidade no Brasil, como será exemplificado adiante. Embora estejam disponíveis tecnologias e recursos para viabilizar a instalação de usinas WTE desse tipo, o custo de implantação e operação do sistema e a falta de regulamentação afasta investidores do setor elétrico e de saneamento. Portanto, estabelecer comparação entre o atual sistema de gerenciamento municipal de resíduos – por disposição em aterros sanitários, e a opção de tratamento em URE, deve ser ponto de partida para uma futura mudança.

Para o trabalho de conclusão do curso de Especialização em Fontes Renováveis se justifica a abordagem do assunto como forma de investigação de nova fonte de energia a ser desenvolvida no país, e por sua relevância para a promoção de políticas públicas de saneamento no Brasil.

1.4 Organização da monografia

Na organização do presente estudo o Capítulo 1 introduz o assunto com a temática do tratamento de resíduos sólidos no Brasil, os objetivos e a justificativa para o trabalho apresentado.

O Capítulo 2 conceitua Resíduos Sólidos Urbanos e Geração Distribuída, e faz revisão bibliográfica de artigos e estudos relacionados com o conteúdo.

Na sequência o Capítulo 3 apresenta a metodologia do estudo, baseada na pesquisa e no tratamento dos dados de sistema de informações geográficas do município de Belo Horizonte, empreendendo análises quanto à atual gestão de RSU do município.

Na apresentação de resultados o Capítulo 4 justifica a seleção de alternativa locacional para a implantação da URE, assim como realiza estimativa de potência instalada para a usina e de custos e receitas relacionados.

Por último o Capítulo 5 traz a conclusão do discente para os resultados obtidos, e são apresentadas as referências bibliográficas no Capítulo 6.

2 Conceitos Gerais e Revisão da Literatura

A seguir são apresentados os conceitos gerais relacionados a Resíduos Sólidos Urbanos e Geração Distribuída. Neste tópico também são comentados trabalhos relacionados à geração de energia a partir de RSU.

2.1 Resíduos Sólidos Urbanos

A Lei nº 12.305/2010 e o Decreto nº 7.404/2010 que a regula estabelecem a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil. Quando promulgada a legislação estipulou o prazos para que os municípios, variando a data limite de acordo com a população da cidade, regularizassem a destinação final de RSU, criando diretrizes, planos e linhas de crédito para que as diferentes realidades socioeconômicas pudessem resolver em definitivo a problemática do RSU, um dos pilares do saneamento básico – política mais ampla regida pela Lei nº 11.445/2007.

Segundo a PNRS se entende por resíduos sólidos:

material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Ainda, de acordo com a PNRS (BRASIL, 2010), rejeito é definido como resíduo sólido que, após cessar as opções de reuso, reciclagem e recuperação por processos economicamente viáveis, apresentem como alternativa apenas a disposição final ambientalmente adequada.

No âmbito do estado de Minas Gerais foi instituída a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) pela Lei nº 18.031/2009, regida pelo Decreto nº 45.181/2009. Dentre outras deliberações para a execução da PERS, segundo a redação da política compete ao poder público fomentar soluções que contemplem a reciclagem, o aproveitamento energético, a compostagem e o aterramento.

Na capital mineira foi publicado em 2017 o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), documento que se encontra em fase de revisão e participação pública.

Para o estudo de caso em Belo Horizonte, importante destacar a Lei Municipal nº 11.181/2019, que institui o Plano diretor de Belo Horizonte, definindo as diretrizes de zoneamento, ocupação do solo, saneamento, áreas protegidas etc.

A ABNT NBR 16849, normativa recente, publicada em fevereiro de 2020, define em seus objetivos:

Estabelece os requisitos para aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos com ou sem incorporação de outros resíduos classe II - Não perigosos, abrangendo os aspectos de elegibilidade de resíduos, registros e rastreabilidade, amostragem e formação dos lotes, armazenamento, preparo de resíduos sólidos urbanos para fins energéticos (RSUE), classificação dos lotes gerados e uso do RSUE nas unidades de recuperação energética (URE), conforme a cadeia de custódia, respeitando a hierarquia de gestão e gerenciamento de resíduos (ABNT, 2020).

2.2 Geração Distribuída

O conceito de geração de energia elétrica originalmente aplicado no Brasil foi estruturado na identificação de potenciais hidráulicos de capacidade elevada, resultando na construção de grandes usinas hidrelétricas, algumas vezes distantes do consumo e dependente de extensas linhas de transmissão de energia elétrica.

Como forma de incentivo à geração distribuída por meio de fontes renováveis no Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou em 2012 a Resolução Normativa (RN) nº 482, regulamentando o setor de geração a partir de pequenas centrais e estabelecendo diretrizes para conexão destas na rede de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2014).

A normativa ANEEL nº 482/2012 e suas revisões (RN nº 687/2015 e RN nº 786/2017) regulam a micro e mini geração de energia elétrica no Brasil. Tais regulamentações permitiram o desenvolvimento de menores empreendimentos de geração fonte hídrica (Centrais Geradoras Hidrelétricas – CGHs), assim como de fontes ditas alternativas como a biomassa, a eólica e a solar, tendo esta última ganhado destaque no parque gerador nacional nos últimos anos com as instalações, principalmente residenciais e comerciais.

São classificadas na mini geração distribuída as unidades geradoras de energia elétrica que tenham potência instalada entre 75 kW e 5 MW e utilizem cogeração qualificada, conforme definições da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.”

O incentivo governamental aos empreendimentos de geração distribuída (GD) se justifica pelo fato de linhas de transmissão e sistemas de distribuição de energia gerarem perdas no transporte da energia elétrica desde a central de geração até a carga.

2.3 Revisão de Literatura

Ainda que temporalmente defasado, pois teve sua segunda edição publicada em 2010, o Relatório 2 - Avaliação técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica no estado de Minas Gerais, documento dedicado ao estudo de municípios na região sul do Estado, estabelece referenciais que são utilizados no presente trabalho, como: i) quantidade de resíduos a serem processados na URE, ii) precificação de custos de implantação e operação da planta, iii) cálculo da energia elétrica gerada pela URE, entre outros.

O estudo idealizado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM) em 2009, e elaborado pela empresa Engebio, identificou oportunidade de implantação de URE para atender a um possível consórcio de municípios na região de Três Corações (raio de abrangência da ordem de 100 km), tendo como proposta resolver a destinação inadequada de RSU de 73 municípios inseridos na área selecionada.

O relatório entregue à Fundação traça cenários para implantação da URE a partir de propostas elaboradas por duas empresas estrangeiras e por uma avaliação própria dada a experiência no setor.

Embora estabeleça de maneira acertada as premissas básicas na modelagem técnica e econômica do projeto, considera um baixo valor para a venda de energia elétrica quando comparado hoje aos valores praticados no mercado de geração distribuída. Isso se justifica, pois na ocasião haviam duas opções para a precificação da venda de energia: ambiente de contratação regulada (ACR) e ambiente de contratação livre (ACL), resultando numa previsão de receita de R\$170,00/MWh.

Sendo as duas principais receitas da URE a venda de energia elétrica e a receita de processamento térmico do resíduo, esta última teve que ser majorada no estudo para que fosse indicada a viabilidade financeira do projeto.

O artigo *Status and Opportunities for Energy Recovery from Municipal Solid Waste in Europe*, faz algumas reflexões adotadas neste trabalho, tendo sido a principal delas o estabelecimento da relação entre a densidade demográfica, o poder econômico da população e a produção de RSU. Importante mencionar a análise geográfica realizada com a proposição de usinas WTE em países que tem excesso de RSU enviado a aterros sanitários e, portanto, possuem uma importante fração dos resíduos, segundo os autores, sendo sub explorados para a geração de energia; assim como nações europeias que ainda não adotam a incineração de resíduos com aproveitamento energético como prática no tratamento de RSU (SCARLAT et al., 2018).

Outros aspectos abordados no referido artigo são de relevância para análise de oportunidades de implantação de usinas WTE no Brasil. O desenvolvimento de usinas WTE no continente europeu, observado o histórico de dados de 1995 a 2015, foi motivado por políticas públicas efetivas da União Europeia e dos países destaques no tratamento térmico de RSU com aproveitamento energético. Os autores deixam explícita a importância da legislação e das diretivas da EU no fomento do setor, sugerindo a necessidade de regulação dos entes públicos de modo a permitir o avanço da solução de tratamento dos resíduos por incineração, reduzindo progressivamente a destinação aos aterros sanitários e, por consequência, atendendo aos acordos de redução dos GEE.

Conforme Malinauskaite et al. (2017), no artigo *Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe*, são discutidas as políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos na união europeia, tendo como estudo de caso países membros com diferentes realidades econômicas e culturais.

A revisão de legislação e diretivas da união europeia no que tange aos requisitos para gestão de resíduos e políticas associadas trouxe à discussão o papel da incineração de resíduos para recuperação energética no contexto da política adotada. Indo para o lado oposto à instalação de usinas WTE, a hierarquia estabelecida para a gestão de RSU pela sociedade dos países europeus determina ações de redução, reuso e reciclagem. Deste modo, a matéria prima das plantas de recuperação energética de resíduos estaria comprometida, não devendo ser incentivada a instalação de novas centrais.

Por outro lado, a biomassa do RSU é tida como importante fonte de energia na Europa, permitindo que os países membros da UE cumpram as metas de geração de energia a partir de fontes renováveis, podendo continuar caso sejam estendidos os números de plantas WTE.

A discussão empreendida na união europeia revela o abismo do planejamento e política de gestão de resíduos sólidos urbanos entre os países europeus e o Brasil, assim como do amadurecimento da legislação da UE frente à nossa PNRS. Enquanto estamos iniciando ações de eliminação de lixões – o que também é praticado em países menos desenvolvidos da Europa, a comunidade europeia parte para a adoção de planos que fazem considerações quanto a implantação de novas unidades de recuperação energética.

O artigo faz também menção a um importante ponto que deve ser considerado em uma instalação de URE no centro urbano: a proximidade da planta dos cidadãos e a possibilidade de rejeição da vizinhança pela operação do empreendimento. O desconhecimento quanto aos critérios de emissão de efluentes, e a inerente produção de ruídos e odores, caso não sejam previamente bem estudados e comunicados com a sociedade, podem superar os benefícios ambientais e sociais dos projetos.

3 Metodologia

A geração de energia termoeétrica a partir de RSU se insere no contexto de GD à medida que a matéria prima na produção de eletricidade ou calor é o lixo urbano, descartado pela população nos centros urbanos, que por sua vez é ávida consumidora de energia.

No Brasil a recuperação energética de resíduos é incipiente. As unidades em operação não processam grandes quantidades de RSU, a exemplo da Usina Modelo - USINAVERDE S/A, implantada no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) da Ilha do Fundão. Trata-se de um centro tecnológico de inovação que busca aprimoramento da tecnologia nacional para instalações WTE, com capacidade para tratar 30 ton diárias de resíduos sólidos e potência instalada de 750 kW (ENGEPIO, 2010b).

Outra iniciativa em âmbito nacional para tratamento de resíduos em URE é o projeto da Parceria Público-Privada promovida entre a Prefeitura de Barueri e a Foxx-Haztec. O empreendimento, que se encontra em fase de projeto, é caracterizado com capacidade de tratamento de 870 ton/dia de resíduos e potência instalada de 20 MW, com localização no centro urbano de Barueri/SP, na avenida Pirarucu (CETESB, 2019).

Para avaliação das oportunidades de implantação de uma URE na cidade de Belo Horizonte foram empreendidas pesquisas junto ao banco de dados do município quanto à produção, coleta, transporte e destinação final de RSU em BH. Dados obtidos a partir de sistema de informações geográficas (SIG) da plataforma *BH Map* e provenientes do projeto básico de licitação e projeto executivo de serviços da Superintendência de Limpeza Urbana, foram utilizados para determinar as distâncias percorridas desde a coleta até a destinação final em aterro sanitário. Também por meio de SIG da prefeitura municipal de Belo Horizonte, obteve-se dados da população residente em determinadas regiões administrativas e bairros da cidade, assim como de empreendimentos que ali operam, sendo possível inferir a quantidade de RSU gerado e, conseqüentemente, o potencial energético para projeto de uma unidade de recuperação energética.

Mostra-se importante a contextualização de alguns dados para que seja possível estabelecer o cenário atual do sistema de gestão do RSU, serviço público essencial para a preservação do meio ambiente e a qualidade de vida dos cidadãos.

3.1 População de Belo Horizonte

O censo IBGE realizado em 2010 apontou para a população de Belo Horizonte o resultado de 2,375 milhão de habitantes na área urbana, tendo o mesmo Instituto feito estimativa em 2019 de uma população de 2,512 milhão de habitantes, um crescimento de

5,77 % na década. A Figura 1 apresenta o resumo de dados de censo demográfico e estimativa da população para os dias atuais.

Figura 1 - População de Belo Horizonte segundo levantamento do IBGE



Fonte: IBGE, 2020.

Por meio do banco de dados do sistema de informações geográficas da prefeitura, obteve-se informações da população para os bairros de Belo Horizonte. Com o processamento de dados do SIG, restringindo a coleta de dados apenas para os bairros inseridos dentro dos limites do Lote 1 e suas respectivas regiões administrativas: Barreiro, Oeste e Centro-Sul, foi possível atingir dados com maior precisão quanto a população residente nestes locais.

Vale destacar que as RA's estudadas representam boa parcela da população do município, aproximadamente 40% do total. Por outro lado, não estão dotadas de significativo número de indústrias, ficando tais instalações concentradas na região norte da cidade.

3.2 Produção de RSU

Embora a produção de RSU varie de acordo com a condição socioeconômica da população, assim como a composição gravimétrica (classificação quantitativa entre os tipos de resíduos), pode ser considerado o valor médio de 1,039 kg por habitante/dia (ABRELPE, 2019).

Portanto, para uma população de 2,512 milhão de habitantes estimada em 2019, temos o resultado para o município de Belo Horizonte de aproximadamente 2.600 ton/dia (duas mil e seiscentas toneladas por dia).

3.3 Destinação do RSU

A Central de Tratamento de Resíduos - CTR Macaúbas, localizada na rodovia MG-05, s/n, km 8,1 - Parte, Nações Unidas, município de Sabará, iniciou operação em novembro de 2005 com recebimento do lixo urbano dos municípios da região metropolitana de Belo Horizonte/MG.

O empreendimento recebe, além de RSU dos municípios, resíduos industriais, mantendo contratos com empresas como Infraero, Arcelor Mittal e Copasa (Companhia de Saneamento de Minas Gerais). Dados de relatório de desempenho ambiental elaborado em novembro de 2016 pela Vital Engenharia, controladora da CTR Macaúbas, indicaram que a vida útil restante do aterro sanitário tinha na ocasião mais quatorze anos, para chegar a uma capacidade volumétrica estimada total de 25.629.913,00 m³, dos quais já tinham sido aterrados na época 11.373.045,27 m³. Existe a previsão, portanto, que o aterro sanitário complete vinte e cinco anos de operação encerrando as atividades no ano de 2030.

No planejamento de curto prazo, até a conclusão do período de operação da CTR Macaúbas, o município de Belo Horizonte deverá traçar estratégias para a destinação do tratamento de RSU. Novas áreas com a extensão territorial compatível com a da CTR Macaúbas, que possui 405 hectares (equivalente a quatro milhões de metros quadrados), deverão ser obtidas em locais cada vez mais distantes da área urbana, aumentando as distâncias médias de transporte. Espera-se do governo municipal um planejamento de longo prazo para a destinação do RSU.

Uma simples comparação do CTR Macaúbas com o aterro sanitário da BR-040, que atendeu o município de 1975 a 2005, exemplifica a tendência de distanciamento do centro urbano, arbitrada como referência a Praça Sete de Setembro localizada no centro da cidade de Belo Horizonte. A Tabela 1 apresenta tal comparação.

Tabela 1 – Distância entre centro de BH e Aterros sanitários

Ano início operação	Centro BH	Aterro sanitário	Distância Centro BH - CTR
1975	Pça Sete de setembro	CTR Jardim Filadélfia	11,3 km
2005	Pça Sete de setembro	CTR Macaúbas	20,4 km

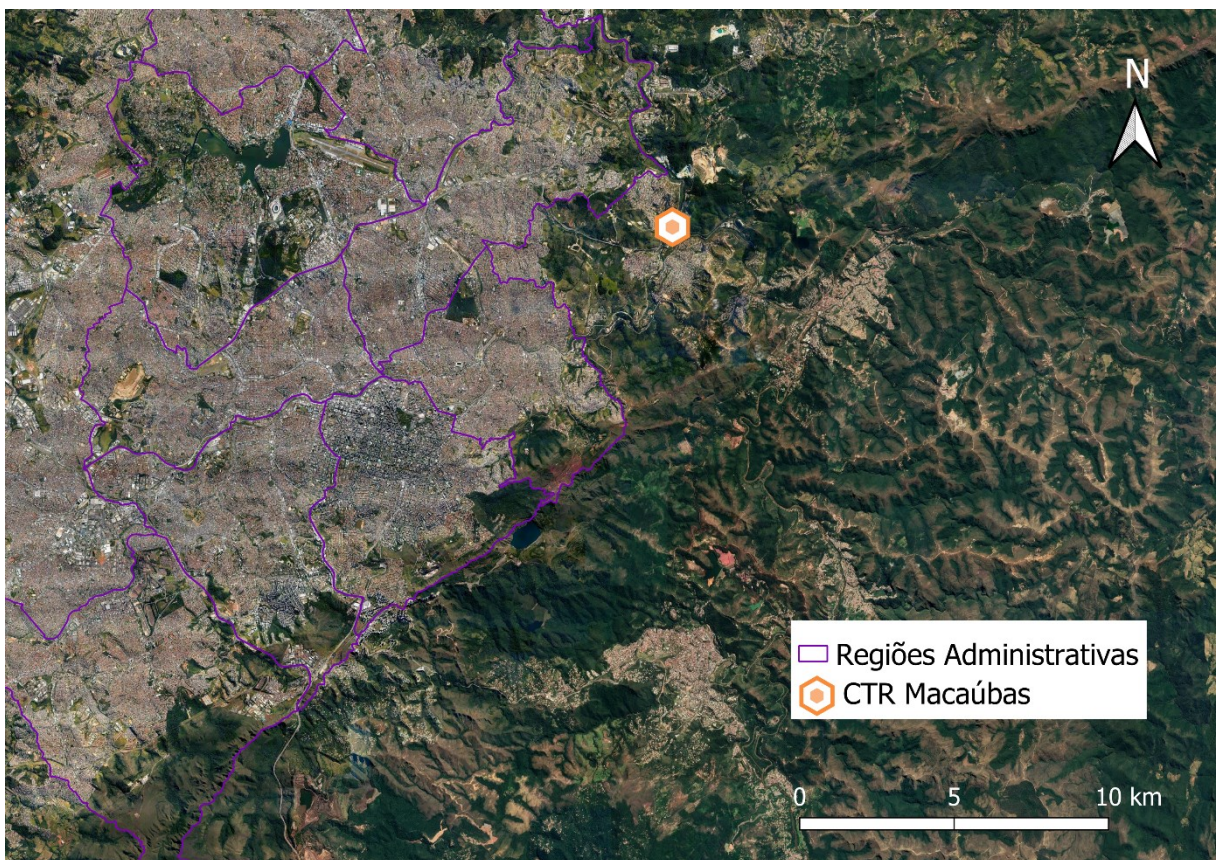
Fonte: Autor – adaptado SLU/PBH/Google

3.4 Gestão atual do RSU

Para gestão dos serviços de coleta e transporte de RSU, a prefeitura municipal de Belo Horizonte, por meio da Superintendência de Limpeza Urbana (SLU), subdivide o município em Lotes (1, 2 e 3) e Regiões Administrativas (RAs): Barreiro, Oeste, Centro, Sul – Lote 1; Nordeste, Leste, Noroeste – Lote 2; Venda Nova, Norte, Pampulha – Lote 3. As RAs, por sua vez, são organizadas em distritos de coleta.

A Figura 2 ilustra as nove regiões administrativas do município.

Figura 2 - Regiões Administrativas de BH



Fonte: Elaborado pelo autor

A CTR Macaúbas, aterro sanitário para onde é destinado o RSU de Belo Horizonte, se localiza no município de Sabará, na região nordeste da região metropolitana. Na Figura 3, em destaque a Lagoa da Pampulha e o estádio Mineirão, na região norte da cidade, assim como ilustração na imagem da localização da CTR fora dos limites municipais de Belo Horizonte.

Figura 3 - Localização da CTR Macaúbas em Sabará



Fonte: Elaborado pelo autor

Para atender à demanda de coleta de lixo na cidade, as licitações para prestação do serviço são realizadas considerando premissas do projeto básico apresentado pela SLU. Uma das informações enunciadas pelo órgão gestor em seu projeto básico de licitação é a distância média de transporte.

As distâncias médias de transporte (DMT) para coleta de lixo urbano em BH são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Distância média de transporte dos RSU em BH

Lotes	Regiões Administrativas	Distância Média de Transporte (km)	Local de Descarga
1	Barreiro	32	Aterro sanitário - CTR Macaúbas
	Oeste	28	
	Centro	17	
	Sul	22	
2	Nordeste	13	
	Leste	14	
	Noroeste	25	
3	Venda Nova	22	
	Norte	15	
	Pampulha	19	

*O percurso de transporte por viagem (ida e volta aos locais de descarga) correspondem ao dobro da DMT

Fonte: Projeto básico de licitação - Anexo III, SLU (2019)

Para a coleta e o transporte dos resíduos sólidos urbanos, os caminhões percorrem longas distâncias, como podemos ver na Tabela 3.

Tabela 3 – Extensão total percorrida (média mensal) para coleta de RSU

Lotes	Regiões administrativas	Efetivo de caminhões	Extensão total percorrida por caminhão (km) - média mensal
1	Barreiro	29	3.613
	Oeste		3.011
	Centro		1.669
	Sul		1.856
2	Nordeste	22	2.200
	Leste		1.969
	Noroeste		3.183
3	Venda Nova	39	2.885
	Norte		2.651
	Pampulha		3.305
TOTAL		90	2.634

Fonte: Projeto básico de licitação - Anexo III, SLU (2019).

Todo o efetivo de caminhões, para o atendimento “porta a porta” no município, percorre uma distância mensal estimada em 237.780 km (duzentos e trinta e sete mil e setenta e oito quilômetros), valor resultado do produto entre o número de caminhões e a média de quilômetros percorridos. Levando em conta que os caminhões rodam nos distritos de coleta entre duas e três vezes por semana, até mesmo diariamente em alguns bairros, deve-se considerar o deslocamento médio mensal desses veículos uma variável importante no gerenciamento do RSU.

Foi selecionada para estudo de caso a zona denominada Lote 1, que compreende as RA's: Barreiro, Oeste, Centro e Sul, sendo tais áreas as mais afastadas do aterro sanitário que atualmente é usado pelo município na destinação final do RSU coletado, e conseqüentemente, que apresentam os maiores valores de DMT. As regiões selecionadas também são aquelas que apresentam maior densidade demográfica e poder aquisitivo da população residente, características que indicam maior produção de RSU.

O efetivo de vinte e nove caminhões que atendem as quatro RA's selecionadas percorre uma DMT total mensal de 73.580 km (setenta e três mil quinhentos e oitenta quilômetros), conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Distância Média de Transporte - Lote 1

LLotes	Regiões administrativas	Efetivo de caminhões	Extensão total percorrida por caminhão (km) - média mensal	Extensão total percorrida Lote 1 (km) - média mensal
1	Barreiro	29	3.613	
	Oeste		3.011	
	Centro		1.669	
	Sul		1.856	
TOTAL		29	2.537	73.580

Fonte: Adaptado - Projeto básico de licitação - Anexo III, SLU (2019).

3.5 Custos envolvidos com a gestão de RSU

Como serviço público delegado à administração municipal, a coleta, transporte e destinação final dos resíduos sólidos urbanos constitui custos ao governo que são revertidos em tributos à sociedade. Para estabelecer uma avaliação do que a atual gestão de resíduos sólidos representa em termos financeiros será preciso considerar os principais aspectos econômicos deste serviço. Para tanto, foram selecionados os custos relacionados a: i) coleta e transporte; ii) destinação final ao aterro sanitário.

Segundo LINO (2009), a partir da literatura, para o consumo médio de combustível por caminhões que realizam transporte de carga comum e de resíduos sólidos, é possível adotar como referência o valor 2,3 km/L (ou 0,433 L/km).

De acordo com o sistema de levantamento de preços da Agência Nacional de Petróleo (ANP), disponível em seu site oficial, o preço médio encontrado para o óleo diesel no mês de julho de 2020 em Belo Horizonte/MG é de R\$2,99.

Além de despesas relacionadas com a manutenção e operação dos veículos de coleta e transporte, a mão-de-obra e instrumentação (equipamentos de proteção) necessária à boa execução do serviço de coleta por motoristas e ajudantes também integra o custo de gestão de RSU.

O custo relacionado à coleta e transporte para o Lote 1, zona objeto de avaliação deste estudo, foi firmado pela SLU nos contratos e termos aditivos vigentes com a empresa LOCALIX SERVIÇOS AMBIENTAIS LTDA., representando para o Lote 1 o custo atualizado anual de R\$ 46.526.318,08 (termo aditivo período 2019-2020).

O custo expressivo que o município tem na destinação de RSU é a remuneração paga à CTR Macaúbas, precificada no Contrato SMURBE SC - 266/08 em R\$ 759.210.296,25 para o prazo contratado de 25 anos, com um valor unitário de R\$ 30,93/ton de RSU recebido pela contratada, tendo como referência para correção/ajuste anual o mês de junho do ano de

2007. Os cálculos de reajuste atualizados pela SLU em 2018 corrigem o valor unitário do contrato para R\$ 53,36/ton destinado à CTR Macaúbas, representando uma variação de 72,52 % no período.

O valor global do contrato foi atualizado em 2009 pela SLU para R\$ 812.361.154,50. Foi adotado o valor global defasado propositalmente, de forma que será possível compará-lo com o valor do orçamento de uma URE, do mesmo ano, no capítulo seguinte.

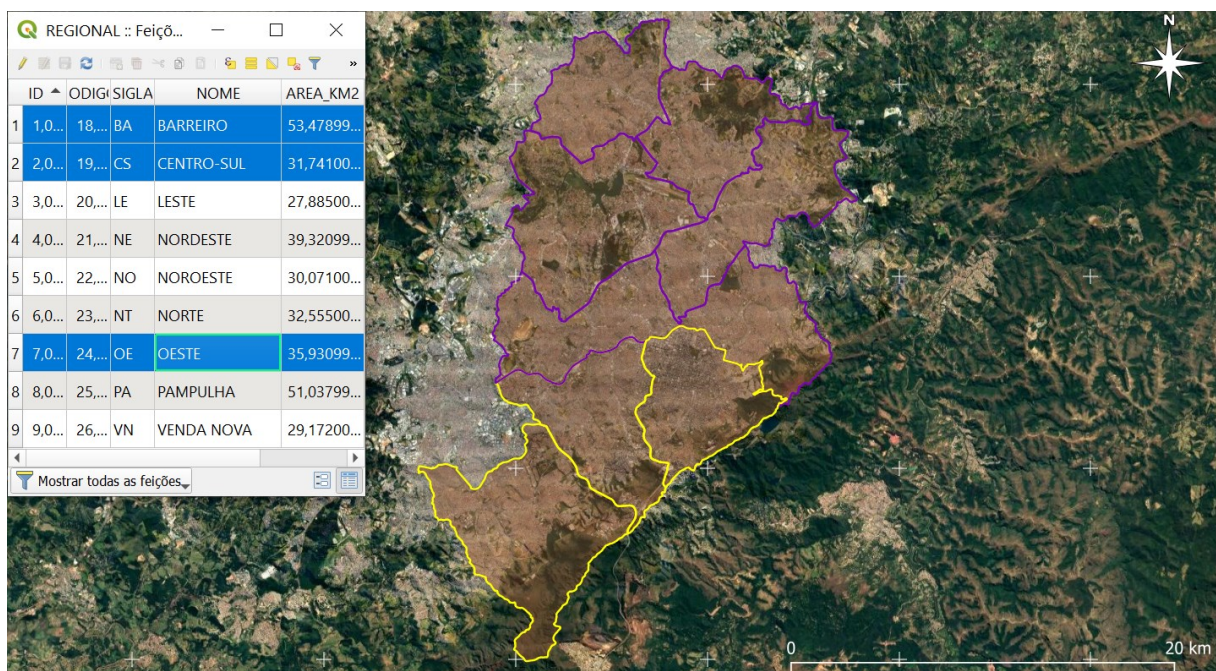
4 Apresentação e Análise dos Resultados

4.1 Análise da implantação de URE

4.1.1 Alternativa técnica locacional

Conforme discutido anteriormente, para análise de implantação da URE de resíduos em Belo Horizonte foi selecionado o Lote 1. A escolha se justifica principalmente pela maior distância média de transporte (ida - 25 km) a partir do Lote 1 ao aterro sanitário CTR Macaúbas para onde são transportados os RSU, pela densidade demográfica (média 17.135 hab/km²) proporcionada pela verticalização de condomínios residenciais especialmente nas áreas Centro-Sul e Oeste, e pela condição socioeconômica da população residente com poder de consumo e descarte de produtos teoricamente maior do que nas demais regiões da cidade. A Figura 4 destaca as regiões administrativas Barreiro, Oeste e Centro-Sul.

Figura 4 - Lote 1/Regiões administrativas: Barreiro, Oeste, Centro-Sul



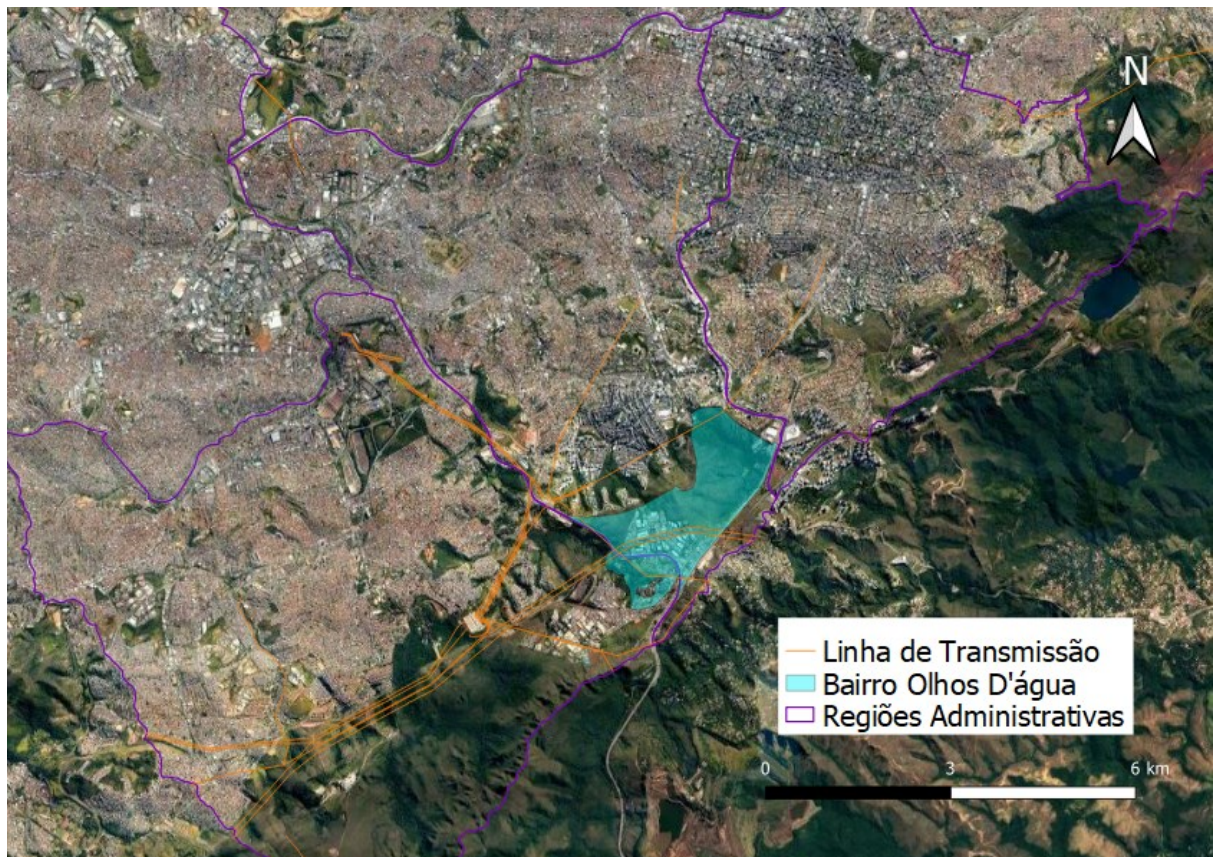
Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando as regiões administrativas estudadas e o zoneamento urbano municipal, foi selecionado o bairro Olhos D'água, localizado em posição estratégica no Lote 1, na região Oeste, como potencial localização da unidade de recuperação energética de RSU. De acordo com o plano diretor da cidade (Lei municipal 11.181/2019) áreas do bairro são classificadas como "zona de grandes equipamentos", onde se encontram instaladas indústrias. Localizado próximo ao anel rodoviário na saída da rodovia BR-040 sentido Rio de Janeiro, o

bairro também possui na vizinhança o principal shopping center de Belo Horizonte, fonte de significativa produção de resíduos.

A infraestrutura do bairro Olhos D'água permite a instalação de uma URE, que não difere das instalações de uma indústria de grande porte. Classificada no zoneamento urbano como zona de grandes equipamentos, o bairro dispõe de tais áreas. Também possui boa infraestrutura viária e rede elétrica para escoamento da energia gerada, passando pelo bairro uma linha de transmissão. A Figura 5 ilustra o bairro Olhos D'água selecionado como opção para implantação da URE, tendo como referência as três regiões administrativas do Lote 1, assim como a linha de transmissão.

Figura 5 - Bairro Olhos D'água, localização sugerida para URE



Fonte: Elaborado pelo autor

Motivado por seu zoneamento direcionado à indústria, o bairro conta com pequena população residente. Dados obtidos na plataforma BH Map indicam 1.566 habitantes. Desta forma, é minimizado o risco de possíveis manifestações contrárias à instalação da planta de recuperação energética de resíduos.

4.1.2 Distância média de transporte para URE

Uma unidade geradora de energia localizado no Lote 1 em posição estratégica entre as RAs atendidas pela coleta e transporte do RSU permitiria uma redução da DMT em relação a aquela observada no sistema atual de gerenciamento dos RSU.

Segundo dados da SLU (Projeto Básico; Licitação 2019), a DMT média das regiões administrativas do Lote 1 até a CTR Macaúbas de 24,75 km seria reduzida para cerca de 8 km, ou seja, os caminhões de coleta percorreriam em média 30% do que se deslocam atualmente para coleta e transporte do RSU até o destino final de tratamento. Conseqüentemente, o custo atrelado a este serviço também seria reduzida de modo proporcional.

4.1.3 População atendida pela URE

No que diz respeito ao número de cidadãos residentes na área de estudo, foi realizado processamento dos dados obtidos a partir de banco de dados do sistema de informações geográficas da prefeitura municipal de Belo Horizonte. A população do Lote 1 resultou em 965.212 habitantes (referência PBH 2010). Aplicando o percentual utilizado pelo IBGE de crescimento populacional de 5,77% na década, podemos inferir que a população para o Lote 1 atualizada é de aproximadamente 1.020.904 habitantes.

4.1.4 Estimativa de RSU tratados na URE

Considerando os dados do relatório Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019, da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) para a taxa de geração per capita de RSU, seriam destinados à CTR Macaúbas cerca de mil toneladas por dia (ton/dia) originados da população residente no Lote 1. O valor difere do projeto básico da SLU para licitação do serviço de coleta, que considera 20.843 toneladas/mês, ou seja, cerca de 695 ton/dia. A estimativa oficial da SLU, neste sentido, sugere o valor de 0,68 kg/hab/dia de geração de RSU, abaixo do que publicou a ABRELPE no relatório. Sendo assim, é válido arbitrar o valor mais conservador para a matéria prima de interesse, seguindo os dados do gestor local - SLU.

Portanto, admite-se a disponibilidade de 600 ton/dia de resíduos sólidos urbanos nas regiões administrativas Centro-Sul, Oeste e Barreiro para processamento na URE estudada. Tal valor representa 40% do resíduo de coleta domiciliar de Belo Horizonte.

Ainda que avancem políticas voltadas à reciclagem e reutilização de recursos como preconizado na PNRS, a quantidade de RSU produzida no Lote 1 permitiria a operação

da URE durante o período idealizado. Tendo em vista a tendência no aumento do consumo e descarte de materiais, os resíduos a serem destinados para tratamento térmico não serão escassos.

4.1.5 Custos e receitas envolvidos com a implantação da URE

Considerando dados do estudo realizado pela Engebio para a FEAM, de 2010, que obteve três diferentes cenários para implantação de URE em Minas Gerais, para a URE aqui avaliada é assumida a capacidade máxima de processamento de 600 ton/dia, em dois módulos de 5 MW cada de potência instalada para geração exclusiva de energia elétrica.

A planta, que após o quinto ano de operação do primeiro módulo aumentaria sua potência instalada para totalizar 10 MW, teria 8.000 h/ano de disponibilidade com eficiência líquida de 25% da planta térmica. O projeto, assim como o contrato dos aterros sanitários, prevê um prazo de operação por 25 anos.

Para tanto, o investimento necessário para implantação da Unidade de Recuperação Energética – URE “Olhos D’água” é estimado em R\$ 595.709.525,60. O valor foi obtido aplicando-se a atualização do capital declarado pela empresa CNIM no orçamento apresentado em 2009 constante do relatório elaborado pela Engebio à FEAM, no site do Banco Central do Brasil – Calculadora do cidadão, da seguinte forma:

- a. Investimento proposta CNIM: R\$332,00mi (data base: set./2009)
- b. Índice de correção monetária: IPCA - 1,7943 ou 79,43%
- c. Investimento URE Olhos D’água: R\$595,70mi

O enquadramento no mercado de geração distribuída da central de geração de energia a partir da incineração de resíduos sólidos urbanos é possível tendo em vista os módulos estarem desenhados com potências de 5 MW cada. Deste modo, a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 permite o sistema de operação remota e compensação de energia, o que dá à URE a possibilidade de melhores receitas na venda de energia, podendo chegar a R\$ 600/MWh. Indo na mesma direção, a Portaria Nº 65/2018 do Ministério de Minas e Energia estabeleceu os Valores Anuais de Referência Específicos – VRES, tendo indicado para a fonte de geração de Resíduos Sólidos Urbanos um valor de R\$ 561,00/MWh.

Também para venda de energia deve ser considerado o incentivo do governo federal por meio de leilões de energia para suprir as demandas do Ambiente de Contratação Regulada - ACR.

No que tange à receita de destruição do resíduo (análoga à Contraprestação Pecuniária Mensal-CPM paga pelo município para aterragem), a depender do que for contratado na venda de energia, poderia ser estudada a possibilidade de manutenção do valor R\$/ton hoje praticado pelo município no contrato de aterragem.

4.1.6 Comparativo URE Olhos D'água e CTR Macaúbas

Com os resultados obtidos para a URE no tratamento térmico do RSU para o Lote 1 e suas regiões administrativas, é possível estabelecer um comparativo com o atual sistema de gestão praticado pela PBH com o envio dos resíduos à CTR Macaúbas.

O custo corrigido pelo IPCA com base no último reajuste do valor global publicado pela SLU em janeiro de 2009, do Contrato nº 266/08 de aterragem de resíduos celebrado entre SLU e CTR Macaúbas, considerando o percentual de 40% que representa os resíduos do Lote 1 em relação ao valor global do contrato entre PBH e aterro sanitário, é de R\$ 597.480.970,96 para o prazo de 25 anos de destinação de RSU do Lote 1 para a CTR Macaúbas.

- a. Valor contratual para aterragem: R\$ 812,36mi (data base: fev./2009)
- b. Índice de correção monetária: IPCA – 1,8387 ou 83,87%
- c. Valor contratual atualizado: R\$ 1,49bi
- d. Percentual (40%) do Lote 1 no contrato: R\$ 597,48mi

Por essa análise, o valor específico para aterragem dos resíduos sólidos urbanos coletados no Lote 1 coincide com o valor obtido para o tratamento de tais resíduos pela URE Olhos D'água.

5 Conclusões

Além do custo socioambiental registrado na Introdução do presente trabalho acadêmico, o histórico recente das últimas décadas para o município de Belo Horizonte ensina que o tratamento de RSU tendo como destino o aterramento sanitário, considerado atualmente a forma mais barata, segue a tendência de aumento do custo operacional, tendo em vista a localização das centrais de tratamento de resíduos (como é o caso da CTR Macaúbas) cada vez mais distantes do centro urbano – geração de resíduos.

A adoção a alternativas adicionais de gerenciamento de resíduos é um consenso em países desenvolvidos, que possuem políticas públicas consolidadas e execução dessas pela administração pública. Seguindo a diretriz de redução, reaproveitamento e reciclagem, o aproveitamento energético de RSU se apresenta como solução, amenizando o volume destinado à CTR, prolongando vida útil dos aterros sanitários e evitando a abertura de novas áreas.

Tida por muitos como alternativa com custos elevados, a implantação de URE para tratamento térmico de RSU se demonstrou competitiva com os custos operacionais de aterragem para a área selecionada. É um indicativo importante para a administração pública considerar novas opções no tratamento de resíduos municipais, embora necessite de ajustes, considerando que o contrato de aterragem admite todo tipo de resíduo, inclusive de construção civil.

6 Referências

Cadernos Temáticos ANEEL, Micro e Minigeração Distribuída, Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2014. Disponível em:

<<https://www2.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/caderno-tematico-microeminigeracao.pdf>>. Acesso em: 31/jul./2020.

Contrato SLU/DR.JUR Nº 002/2015. Belo Horizonte: Superintendência de Limpeza Urbana, 2015. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/slu/transparencia/LOCALIX%20%E2%80%93%20LOTE%201%20%E2%80%93%20REGIONAL%20%20O%2C%20BA%2C%20CS%20%20%E2%80%93%20CONTRATO%20N%C2%BA%20002.2015.pdf>>. Acesso em: 18/jul./2020.

Contrato SMURBE SC - 266/08. Belo Horizonte: Superintendência de Limpeza Urbana, 2008. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/slu/transparencia/ATERRAGEM%20%E2%80%93%20MACAUBAS%20%E2%80%93%20CONTRATO%20SC%20N%C2%BA%20266-08%20-%20E%2C%201%C2%BA%2C%20%202%C2%BA%20T.A.pdf>>. Acesso em: 18/jul./2020.

Contribuição para Consulta Pública Nº 025/2019. Brasília: Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos, 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideDocumento=39240&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp>. Acesso em: 11/fev./2020.

Decreto Nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Brasília: Presidência da República, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 31/jul./2020.

Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2018. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-do-manejo-de-residuos-solidos-urbanos-2018>>. Acesso em: 19/ago./2020.

Estudo do estado da arte e análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica no estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/mudnacaclimatica/2013/engebio-feam-02.pdf>>. Acesso em: 14/jun./2020.

Infraestrutura de Dados Espaciais – BHGEO. Belo Horizonte: PRODABEL-Superintendência de Geoprocessamento Corporativo, 2020. Disponível em: <<https://bhgeo.pbh.gov.br/home>>. Acesso em: 18/abr./2020.

Licença de Instalação N° 32003808 - Versão 04, de 03/12/2015. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, 2019. Disponível em: <<https://autenticidade.cetesb.sp.gov.br/pdf/01320038080503122015.pdf>>. Acesso em: 22/ago./2020

LINO, F. A. M. Consumo de energia no transporte da coleta seletiva de resíduo sólido domiciliar no município de Campinas (SP). 2009. 154F. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

MALINAUSKAITE, J. et al. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. **ELSEVIER – Energy – The international journal**, novembro, 2017.

MORAIS, L.A.; NASCIMENTO, V.F.; GUASSELLI, L.A.; OMETTO, J.P.H.B; Estimativas das distâncias para Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.71, n.4, 960-982, outubro/dezembro, 2019.

Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2019. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/?fbclid=IwAR0T7Z55CjYD3V6XWhtZiBR7Iaj3Cf8STQeT_RqameZOWNsAhk6vgwkO7YA>. Acesso em: 26/jul./2020.

Plano Diretor – Lei 11.181/19. Belo Horizonte: Câmara municipal, 2019. Disponível em: <<https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/11181/2019>>. Acesso em: 14/jun./2020.

Plano Diretor – Lei 11.181/19. Belo Horizonte: Prefeitura municipal, 2019. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/planejamento-urbano/plano-diretor/proposta>>. Acesso em: 22/ago./2020.

Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte. Belo Horizonte: Prefeitura municipal, 2016. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/slu/plano-municipal-de-residuos-solidos/produtos>>. Acesso em: 14/jun./2020.

Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei N° 12.305, de 2 de agosto de 2010. Brasília: Presidência da República, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 31/jul./2020.

Política Estadual de Resíduos Sólidos, Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 2009. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=9272>>. Acesso em: 31/jul.2020.

Projeto Básico de Licitação e Projeto Executivo de Serviços. Belo Horizonte: Superintendência de Limpeza Urbana, 2019. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/slu/licitacao/concorrenca-001-2019>>. Acesso em: 14/jun./2020.

Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental. Rio de Janeiro: Vital Engenharia Ambiental S/A, 2016. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/siam/lc/2016/0054320010122016/13783242016.pdf>>. Acesso em 26/jul/2020.

Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 20/jun./2020.

SCARLAT, N., FAHL, F., DALLEMAND, J. Status and Opportunities for Energy Recovery from Municipal Solid Waste in Europe. **Waste Biomass Valorization** **10**, 2425–2444 (2019).

Sistema de Levantamento de Preços. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo, 2020. Disponível em: <http://preco.anp.gov.br/include/Resumo_Por_Municipio_Posto.asp>. Acesso em: 26/jul/2020.