

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Igor Teodoro Guiginski

**Resíduos sólidos e energia elétrica, dois desafios e uma solução:** Estimativa do potencial energético do resíduo sólido gerado no Bairro Daniela

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Guiginski, Igor Teodoro

Resíduos sólidos e energia elétrica, dois desafios e uma  
solução : Estimativa do potencial energético do resíduo  
sólido gerado no Bairro Daniela / Igor Teodoro Guiginski ;  
orientador, Renato Lucas Pacheco, 2021.

48 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. Potencial energético na  
recuperação de resíduos. I. Pacheco, Renato Lucas. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Elétrica. III. Título.

Igor Teodoro Guiginski

**Resíduos sólidos e energia elétrica, dois desafios e uma solução:** Estimativa do potencial energético do resíduo sólido gerado no Bairro Daniela

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Renato Lucas Pacheco, Dr.

Florianópolis

2021



Igor Teodoro Guiginski

**Resíduos sólidos e energia elétrica, dois desafios e uma solução: Estimativa do potencial energético do resíduo sólido gerado no Bairro Daniela**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Elétrica” e aceito, em sua forma final, pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Florianópolis, 4 de outubro de 2021



Documento assinado digitalmente  
Jean Viane Leite  
Data: 13/10/2021 07:57:18-0300  
CPF: 003.474.909-80  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Jean Viane Leite, Dr.  
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

**Banca Examinadora:**



Documento assinado digitalmente  
Renato Lucas Pacheco  
Data: 11/10/2021 09:31:10-0300  
CPF: 341.751.489-49  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Renato Lucas Pacheco, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
Jefferson Luiz Brum Marques  
Data: 12/10/2021 14:31:28-0300  
CPF: 457.624.060-91  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Jefferson Luiz Brum Marques, PhD  
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
Mauricio Valencia Ferreira da Luz  
Data: 12/10/2021 13:46:46-0300  
CPF: 960.926.969-91  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Mauricio Valencia Ferreira da Luz, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina



Dedico este trabalho aos meus queridos pais.





## **AGRADECIMENTOS**

Ao longo do tempo dedicado a este trabalho, recebi muito apoio e assistência.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Renato Lucas Pacheco, cuja paciência que me dedicou e liberdade que me garantiu foram inestimáveis para a formulação das questões de pesquisa e metodologia. Sua experiência me ajudou muito a garantir que este trabalho tivesse forma e relevância, e assim elevou meu trabalho a um nível superior.

Gostaria de agradecer à Engenheira Sanitarista e Ambiental Renata Martins Pacheco pela ajuda na revisão deste trabalho.

A Janaína, minha irmã, gostaria de dedicar um agradecimento especial. Quero agradecer a você por seu apoio paciente, pela sua presença e por todas as oportunidades que me deu para continuar meu trabalho.

Além disso, gostaria de agradecer a meus pais pelo amor, pelo apoio e por estarem sempre me dando forças e conselhos sábios. Obrigado por acreditarem em mim. Finalmente, eu não poderia ter concluído este trabalho sem o apoio da minha grande amiga Isabela Tsutiya Andrade, com quem tive discussões estimulantes e o olhar carinhoso em relação a natureza. Na hora certa você me forneceu as ferramentas de que eu precisava para escolher a direção e concluir com sucesso meu trabalho.



## RESUMO

Conforme a demanda global por energia cresce, a procura por novas formas de obter e utilizar energia também aumenta. Soma-se a isto o fato de que o crescimento das cidades traz para o centro do debate as formas de lidar com os impactos dos cada vez maiores aglomerados urbanos, entre eles, a geração de resíduos. Norteados pela preocupação com o desenvolvimento sustentável e através da geração de energia limpa e renovável, há uma fonte de energia alternativa que vem se destacando no cenário mundial: o biogás. Neste contexto, o potencial energético do biogás se apresenta como alternativa a ser mais bem explorada. No Brasil em particular, impulsionado pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), a obtenção de energia da biodigestão do resíduo sólido urbano pode ser implementada em diversas escalas, desde grandes centros de geração, até pequenas unidades domésticas. Neste cenário, o trabalho aqui desenvolvido tem por objetivo investigar o potencial de recuperação energética do resíduo orgânico produzido pelo bairro Daniela, na cidade de Florianópolis – SC, através da biodigestão anaeróbica. Para realização de tal, foi estimada a quantidade de resíduo gerada no bairro e calculado o potencial energético aproveitável na combustão do biogás, na forma de calor, para aquecimento da água do banho. Com este valor, foi possível estimar a redução da demanda por energia elétrica em 217,55 MWh por ano.

**Palavras-chave:** Biogás. Recuperação energética. Resíduo sólido.

## ABSTRACT

As the global demand for energy grows, the search for new ways to obtain and use energy also increases. In addition, the growth of cities focuses the debate on ways to deal with the impact of the growing urban agglomerations, as the generation of waste. Guided by the concern with sustainable development and generation of clean and renewable energy, one alternative source of energy that has been standing out in the world scenario is biogas. In this context, the energy potential of biogas presents itself as an alternative to be further explored. In Brazil in particular, driven by the Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), obtaining energy from the biodigestion of urban waste can be implemented at various scales, from large generation centers to small domestic units. In this scenario, the analysis developed here aims to investigate the potential for energy recovery of organic waste produced by the Daniela neighborhood, in the city of Florianópolis - SC, through anaerobic biodigestion. To accomplish this, the amount of waste generated in the neighborhood was estimated and the energy potential used in the combustion of biogas was calculated, in the form of heat, for heating the bath water. With this value, it was possible to estimate and reduce the demand for electricity by 217.55 MWh per year.

**Keywords:** Biogas. Energy recovery. Organic waste.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de biodigestor comercial com sugestão de uso do biogás no fogão .....	33
Figura 2 - Mapa das regiões de Florianópolis .....	37
Figura 3 - Praia Daniela, em Florianópolis .....	39
Figura 4 - Fluxograma comparativo dos processos envolvidos no aproveitamento dos resíduos orgânicos numa usina termoelétrica com o aproveitamento local do biogás .....	41









## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa do total de pessoas e resíduo produzido no bairro Daniela em 2021. ....	43
Tabela 2 – Caracterização do resíduo anual gerado no bairro Daniela em 2021. ....	43
Tabela 3 – Energia térmica gerada com o biogás e seu equivalente em eletricidade, quando ambas são utilizadas para aquecimento da água. – Estimativa de redução da demanda por energia elétrica no bairro Daniela. ....	44



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

EPE Empresa de Pesquisa Energética

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MME Ministério de Minas e Energia

MWh Megawatt-hora

ODS Objetivo do Desenvolvimento Sustentável

ONU Organização das Nações Unidas

PIB Produto Interno Bruto

PMF Prefeitura Municipal de Florianópolis

PNAD Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PNRS Política Nacional dos Resíduos Sólidos







## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
1.1	OBJETIVOS .....	25
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>25</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>25</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>27</b>
2.1	CONTEXTO ENERGÉTICO E ELÉTRICO DO BRASIL.....	27
2.1.1	<b>Demanda por energia elétrica nos domicílios .....</b>	<b>28</b>
2.2	GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL.....	29
2.2.1	<b>Geração e destino dos resíduos sólidos no Brasil.....</b>	<b>30</b>
2.2.2	<b>Classificação dos resíduos sólidos e tratamentos alternativos.....</b>	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>37</b>
4.1	Contextualização da cidade Florianópolis e do bairro Daniela .....	37
4.2	Justificativa para geração local de energia .....	40
4.3	Estimativas do potencial de produção energética no bairro Daniela a partir de um biodigestor e de redução da demanda por energia elétrica.....	42
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>47</b>
5.1	Considerações .....	47
5.2	SUGESTÃO PARA NOVOS TRABALHOS .....	48
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>





## **1 INTRODUÇÃO**

O crescimento populacional das cidades e a melhoria da qualidade de vida elevam o consumo de bens e serviços e, conseqüentemente, aumentam a geração de resíduos sólidos em suas diversas formas. Além da maior produção de resíduos sólidos, a própria noção de qualidade de vida, bem-estar e conforto está profundamente relacionada ao uso intensivo de energia, em especial a energia elétrica. Nas próximas décadas deverão ser enfrentados dois grandes desafios: a destinação dos resíduos sólidos urbanos e o aumento da demanda descentralizada por energia.

O presente trabalho propõe uma visão em que cada um destes problemas é parte da solução do outro. Embora sejam questões de naturezas diversas, tanto o problema de geração de resíduos, como o da demanda por energia, são intensificados pela característica de serem inerentemente distribuídos.

### **1.1 OBJETIVOS**

Nas seções a seguir estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

#### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral é estudar o aproveitamento dos resíduos sólidos residenciais sob a ótica do potencial energético dos resíduos sólidos orgânicos gerado no Bairro Daniela, em Florianópolis. O estudo contempla a redução do resíduo recolhido pela coleta pública municipal, sua conversão em energia e a redução na demanda por energia elétrica.

#### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Para alcançar o objetivo geral, os objetivos específicos seguirão os passos descritos a seguir:

- a) Resgatar o contexto energético e elétrico brasileiro;
- b) Analisar a gestão dos resíduos sólidos no Brasil a partir da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS);
- c) Apresentar os conceitos de recuperação energética, biodigestor e biogás;

- d) Verificar o potencial de geração de energia a partir dos resíduos orgânicos produzidos no bairro Daniela, e;
- e) Estimar a quantidade de energia elétrica economizada com a utilização do biogás para aquecer a água do chuveiro.

Este trabalho não propõe a geração de energia elétrica a partir do resíduo orgânico. Seguindo uma visão de gerenciamento pelo lado da demanda, pretende-se estimar a energia elétrica economizada e a redução de demanda elétrica do bairro Daniela ao utilizar o potencial energético do resíduo orgânico para o aquecimento da água para banho, em substituição ao chuveiro elétrico.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta o contexto energético e elétrico brasileiro, incluindo algumas informações relevantes sobre a demanda domiciliar por energia elétrica. Em seguida, são apresentadas as características mais importantes sobre a gestão de resíduos sólidos no Brasil, desde a sua geração, até a destinação final.

### 2.1 CONTEXTO ENERGÉTICO E ELÉTRICO DO BRASIL

Segundo a Resenha Energética Brasileira, produzida pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em parceria com o Ministério de Minas e Energia (MME), em 2019, o crescimento da oferta interna de energia foi superior ao crescimento do Produto Interno Bruto (PIB). Isto significa que, enquanto o consumo industrial diminuiu, puxado principalmente pelo desempenho negativo dos setores da metalurgia, mineração e celulose, o consumo energético das famílias aumentou. Este maior consumo urbano e não industrial de energia refere-se, principalmente, aos veículos leves, energia elétrica residencial e construção civil (BRASIL, 2020).

A matriz energética brasileira é muito mais renovável que a do restante do mundo e o Brasil é referência mundial em energia limpa. Isso porque o Brasil utiliza intensamente fontes renováveis em sua matriz energética, além de incentivar a produção de biocombustíveis. As fontes renováveis representavam, em 2019, 46,1% da oferta interna de energia no Brasil. A média mundial de fontes renováveis é de apenas 14,2%, enquanto que a média dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) é ainda menor, representando somente 10,8% da oferta energética, o que mostra a proeminência da dimensão das fontes renováveis na matriz energética brasileira (BRASIL, 2020; LEÃO, 2019).

Além da matriz energética renovável, destaca-se também a supremacia da geração hidráulica na matriz elétrica brasileira. Embora com pequena redução em 2019, as hidrelétricas foram responsáveis por mais de 60% da oferta interna de energia elétrica no país. Também se destacaram a geração eólica e por bagaço de cana, que complementam a sazonalidade da geração hidráulica. A geração por fonte fotovoltaica praticamente dobrou entre 2018 e 2019, mostrando o crescimento acelerado da oferta deste tipo de energia, mas ainda responde por apenas 1% de participação na matriz elétrica. As diversas fontes renováveis de geração de energia elétrica (hidráulica, eólica, biomassa, solar, entre outras)

representam 83% de participação na matriz elétrica brasileira, cifra muito superior à média mundial, de apenas 26,7% ,e à média do bloco de países da OCDE, de 28,5%.

Destaca-se a importância do crescimento da matriz renovável no Brasil e, diante do cenário energético do país, com crescimento da demanda, escassez de oferta e restrições financeiras, socioeconômicas e ambientais à expansão do sistema, torna-se indispensável a utilização de fontes alternativas de energia, como aquelas que aproveitam a energia dos resíduos sólidos. Além das usinas hidrelétricas, outras fontes renováveis de energia elétrica têm se destacado no cenário nacional. O biogás, por exemplo, destinado à geração de energia elétrica no país, teve um aumento de 33% entre 2018 e 2019, quando a capacidade instalada passou de 140 MW para 186 MW (BRASIL, 2020). A energia eólica é a fonte renovável com maior crescimento. Segundo Leão (2019), em 2013, a energia eólica correspondia a 2% da capacidade de geração de energia elétrica e passou para 9%, em 2019. Também se destaca a produção de energia solar, que tinha pouco mais de 7 mil unidades instaladas em 2016 e saltou para mais de 70 mil em 2019 (LEÃO, 2019).

O Objetivo do Desenvolvimento Sustentável de número 7, Energia Acessível e Limpa, também denominado ODS 7, propõe assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos. Quanto ao cumprimento das metas do ODS 7, o Brasil apresenta cenário promissor, pois a energia está disponível para quase todos os brasileiros e a matriz energética nacional é uma das mais limpas do mundo, com substancial participação das fontes renováveis. Entretanto, alguns desafios se colocam ao cumprimento deste objetivo, pois a energia elétrica brasileira é uma das mais caras e apresenta problemas de oferta, devido a problemas climáticos, por exemplo, que interferem no funcionamento ideal das hidrelétricas. O país, por meio de várias iniciativas, como o Programa de Eficiência Energética da Aneel e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, se comprometeu a aumentar a eficiência energética e manteve a meta da Organização das Nações Unidas (ONU) de cooperar com o acesso à pesquisa e tecnologias de energia limpa e renovável (LEÃO, 2019).

### **2.1.1 Demanda por energia elétrica nos domicílios**

No Brasil, segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) de 2019, o acesso à energia elétrica domiciliar é praticamente universal, chegando a 99,9% dos domicílios da região Sul do país. A rede geral de energia elétrica é a fonte principal e

98,9% dos domicílios têm acesso à rede geral em tempo integral. Bens eletrodomésticos, como refrigerador e máquina de lavar roupas, estão presentes na maioria dos domicílios. Na região Sul, mais de 90% e 85% dos domicílios contam com refrigerador e máquina de lavar, respectivamente (IBGE, 2020).

A refrigeração e o aquecimento são os destinos de uso que mais consomem energia elétrica residencial no Brasil. O refrigerador representa, aproximadamente, 28% da demanda residencial. O chuveiro, principal equipamento de aquecimento de água, aparece em segundo lugar no consumo de energia elétrica residencial, representando cerca de 25% da demanda. Maior demanda por aquecimento de água e uso de chuveiros elétricos ocorre nas regiões Sul e Sudeste, que apresentam ainda, problemas com picos de carga, devido ao uso desse equipamento (BRASIL, 2007).

## 2.2 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

A qualidade de vida está diretamente associada à geração de resíduos sólidos. Por ser um interesse coletivo que a qualidade de vida das pessoas esteja sempre melhorando, é preciso lidar com o aumento da produção de resíduos sólidos urbanos. O consumo e a produção de resíduos estão intimamente relacionados, o que torna imprescindível a conscientização sobre a produção desses resíduos, tanto domiciliar quanto industrial, e a busca por maneiras de reduzir a quantidade de resíduos produzidos, assim como encontrar alternativas de destino mais viáveis do ponto de vista da sustentabilidade (PINTO et al., 2012). Nos últimos anos, é notável o aumento da geração de resíduos sólidos urbanos, tanto total quanto *per capita*. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020), o país gerou 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos em 2019, um aumento de mais de 10 milhões de toneladas em menos de uma década. A geração de resíduo *per capita* também aumentou, de 348 kg por pessoa por ano em 2010 para 379 kg de resíduos sólidos produzidos, em média, de cada brasileiro em 2019, refletindo o aumento do poder aquisitivo, do padrão de consumo e do nível de descarte da população brasileira.

Maia et al. (2014) falam de uma crise socioambiental agravada pela produção crescente de resíduos sólidos. Com o propósito de mitigar os problemas trazidos pela geração crescente de resíduos urbanos, os autores destacam a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituído pela Lei 12.305/10, que representa um marco histórico na gestão dos resíduos sólidos. Segundo esta lei, tanto o poder público, quanto os próprios geradores de

resíduos (pessoas físicas ou jurídicas), são responsáveis pelo gerenciamento dos resíduos. Empresas cumprem parte dessa política através do esforço da logística reversa das embalagens, por exemplo. A PNRS deixa claro que todos na cadeia de produção e consumo são corresponsáveis pela correta destinação dos resíduos, que deve seguir, em ordem: a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento e o correto descarte daquilo que não tem mais utilidade, os rejeitos. A Lei também estabelece a importância da recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos para a PNRS, desde que, é claro, seja comprovada sua viabilidade técnica e o atendimento às normas ambientais (LEI 12.305; MAIA et al., 2014).

### **2.2.1 Geração e destino dos resíduos sólidos no Brasil**

De acordo com a ABRELPE (2020), a Política Nacional de Resíduos Sólidos trouxe avanços ao setor de resíduos, mas ainda há longo caminho a ser percorrido. A coleta regular de resíduos ainda apresenta déficit, com 8% dos resíduos sólidos sem destino, o que equivale a 6,3 milhões de toneladas de material descartadas em locais não apropriados no ano de 2019. Santa Catarina apresenta panorama um pouco melhor que a média nacional, com menor proporção de resíduos sem destino (4,2%). O sistema de coleta seletiva no país ainda é pouco desenvolvido e o índice de reciclagem é extremamente baixo, de menos de 4% do material recolhido. Tudo isso demonstra as dificuldades de avançar o planejamento previsto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos e mostra quão distante o país está do ideal de recuperação energética dos resíduos e de destinação final dos rejeitos.

A Lei 12.305/2010 define rejeitos como “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada”.

Monteiro et al. (2001) chamam a atenção para esta relativa falta de serventia do resíduo do ponto de vista de seu gerador. O rejeito, ou resíduo sólido, pode ser reaproveitado e servir de matéria-prima de novos processos ou produtos.

Vale destacar que, segundo definição da Lei 12.305/2010, os rejeitos são os resíduos sólidos que não possuem outra possibilidade que não o encaminhamento ao descarte final. Assim, apenas são considerados rejeitos aqueles materiais que não possuem alternativa de tratamento ou recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis.

Ou seja, a quantidade de rejeitos pode diminuir com a disponibilidade de tecnologias e viabilidade econômica de alternativas de recuperação ou tratamento deste material.

Para atingir um planejamento para a destinação adequada dos resíduos sólidos é necessário, antes de tudo, conhecer sua composição e, depois, decidir quais são as melhores e mais eficientes alternativas. Os resíduos sólidos urbanos no Brasil são compostos, principalmente, por matéria orgânica, que representa 45,3% de todos os materiais descartados pela população. Os materiais recicláveis (plásticos, papelão, vidros e metais) correspondem a 35% e demais materiais (como objetos de logística reversa e resíduos têxteis) representam 7%. Já os rejeitos propriamente ditos, majoritariamente compostos por materiais sanitários (resíduo do banheiro, por exemplo), e que deveriam ser destinados aos aterros sanitários representam apenas 14% deste total. Entretanto, os resíduos sólidos, independente de sua composição, são majoritariamente descartados em aterros sanitários, aterros controlados e lixões irregulares. A PNRS determina que a disposição adequada de resíduos sólidos nos aterros sanitários seja combinada com projetos de valorização prévia dos resíduos sólidos, mas o país ainda avança lentamente neste tema. Os resíduos orgânicos, compostos por restos de alimentos e resíduos de poda, ainda são fonte importante de emissões de gases de efeito estufa e deveriam ser destinados a sistemas de captura e aproveitamento do biogás (ABRALPE, 2020).

### **2.2.2 Classificação dos resíduos sólidos e tratamentos alternativos**

De acordo com a Lei 12.305/2010, uma das formas mais comuns de classificação dos resíduos sólidos é quanto à sua periculosidade e origem. Dessa forma os resíduos podem ser classificados:

“I - quanto à origem:

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

- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
  - i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
  - j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
  - k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;
- II - quanto à periculosidade:
- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
  - b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.
- Parágrafo único. Respeitado o disposto no art. 20, os resíduos referidos na alínea “d” do inciso I do **caput**, se caracterizados como não perigosos, podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal”(BRASIL, 2010).

Do ponto de vista biológico, o resíduo pode ser classificado como orgânico, inorgânico ou tóxico. O resíduo tóxico é o resíduo que tem potencial de causar danos aos seres vivos e, geralmente, assume a forma química, tendo como origens mais comuns a indústria, o comércio, os hospitais ou a agricultura. O resíduo inorgânico não possui origem biológica e, geralmente, é composto por plásticos, metais ou vidros. Já o resíduo orgânico é aquele que, recentemente, era parte de um ser vivo, ou seja, é todo resíduo que tem origem vegetal ou animal. Podem ser incluídos nesse grupo os restos de comida, restos de carne e ossos, cascas, sementes, folhas, papéis, madeiras e semelhantes. Embora o resíduo orgânico não seja tão perigoso e poluente quanto o resíduo tóxico ou o resíduo inorgânico e tenha um processo de decomposição relativamente rápido, algumas de suas características intrínsecas o tornam desagradável, como o mau cheiro oriundo da decomposição e o ambiente propício ao desenvolvimento de micro-organismos (ALMEIDA et al., 2013).

Uma vez coletado, o resíduo pode ter diversos destinos, como os lixões clandestinos ou os aterros sanitários, e podem também receber algum tipo de tratamento, como a incineração, a compostagem de sua fração orgânica ou a reciclagem de sua parcela inorgânica. Galvão et al. (2002) defendem o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos para geração e conservação de energia como estratégia de desenvolvimento sustentável. Dentre as formas de tratamento alternativo dos resíduos, os autores enfatizam a produção de biogás, a incineração, a compostagem e a reciclagem. A Figura 1 mostra um exemplo comercial de biodigestor residencial.



Monteiro et al. (2001) afirma que o melhor tratamento possível é a redução na geração de resíduo e descarte, via reaproveitamento e reciclagem. Em segundo lugar, defendem o uso de processos físicos e biológicos, como o que ocorre nas usinas de incineração e compostagem. A incineração do resíduo, embora eficaz do ponto de vista da cessação da poluição, é um recurso caro, com demanda de tecnologias sofisticadas de filtragem e controle da poluição do ar. Já a reciclagem e a compostagem têm a vantagem de gerar emprego e renda, além de diminuir o volume de resíduos destinados aos aterros sanitários (MONTEIRO et al., 2001).

Figura 1 - Exemplo de biodigestor comercial com sugestão de uso do biogás no fogão



Fonte: Site homebiogas. Disponível em: < <https://homebiogas.com.br/como-funciona/>>. Acesso em: 30 de set. 2021

Ao contrário da compostagem, que é um processo aeróbico, que gera  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono), a matéria orgânica colocada em um biodigestor sofre um processo anaeróbico, que gera  $\text{CH}_4$  (metano). Assim, além da incineração direta do material, que pode ser uma fonte de energia elétrica a partir do calor gerado no processo, o biogás gerado em biodigestores também pode ser gerado para a produção de energia elétrica.

Galvão et al. (2002), ao estudar a viabilidade do aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos para produção de energia na região do Médio Paranapanema, concluíram que, dentre as formas de aproveitamento energético possíveis para a porção orgânica do resíduo gerado pelas residências, a incineração do resíduo e a produção e posterior queima do biogás produzem praticamente a mesma quantidade de energia elétrica. Apesar de a queima do biogás gerar 92,7% da energia quando comparado com a incineração direta do resíduo orgânico, a opção pelo biogás apresenta as seguintes vantagens:

- a) O biogás é um material estável que pode ser armazenado para uso em momento apropriado. A matéria orgânica, por sua vez, está em constante decomposição durante o tempo de armazenamento;
- b) O biogás já está estável e mantém seu potencial energético com o passar do tempo; mas o resíduo armazenado para incineração perde potencial calorífico com o passar do tempo devido à decomposição constante;
- c) O biogás pode ser canalizado ou vendido em garrafas, diferente do resíduo para incineração;
- d) O biogás queima sem cheiro e sem fumaça;
- e) O subproduto da geração do biogás é um adubo orgânico de excelente qualidade, enquanto o subproduto da incineração é composto por cinzas, muitas vezes contaminadas.

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho utiliza uma pesquisa quantitativa para a redução na demanda por energia elétrica quando o resíduo orgânico produzido pela população local supre parte da demanda térmica de aquecimento da água do banho. O objeto de estudo se limita a um bairro, na cidade de Florianópolis, e tal escolha não foi aleatória, mas segue na linha argumentativa de Gerring (2007) de que estudos de casos podem ser mais produtivos com a escolha intencional.

Para tal, foi realizada análise documental nos dados sobre a população de Florianópolis em 2010 e a estimativa sobre a população em 2020, ambas disponibilizadas pelo IBGE. Essa análise permitiu extrapolar a quantidade de habitantes em 2021. Os dados sobre a geração de resíduos foram retirados do Livro de Compostagem Comunitária, publicado pela Prefeitura Municipal de Florianópolis (PMF) em 2020.

O resíduo produzido é dividido entre restos de alimentos, podas, resíduo seco e rejeito. A análise do potencial energético se dará apenas em relação a queima do biogás produzido através da decomposição da porção orgânica dos resíduos, que são os restos de alimento e poda. A quantidade total de resíduo biodigerível é calculada com base na quantidade de resíduos produzida em média por um morador de Florianópolis.

A partir da quantidade total de matéria prima para a biodigestão foi calculado o potencial de produção de biogás e a quantidade de energia equivalente na sua combustão.

A redução na demanda por energia elétrica por parte da concessionária foi calculada como a energia necessária para gerar o mesmo aquecimento que aquele provido pela queima do biogás, considerando as eficiências de ambos os tipos de aproveitamento da energia.



## 4 RESULTADOS

Com base nas vantagens do biogás em relação à incineração, elencadas na seção 2.2.2, este capítulo apresenta uma estimativa do potencial energético do biogás produzido a partir da fração orgânica dos resíduos sólidos produzidos no bairro Daniela, em Florianópolis - SC. Estas vantagens já justificariam a opção pela biodigestão em detrimento da incineração. Além disso, Florianópolis conta com uma lei que proíbe a incineração como destinação para o resíduo orgânico. A Lei 10.501/2019, além de vedar a incineração dos resíduos sólidos orgânicos, também proíbe a destinação do resíduo orgânico aos aterros sanitários, tornando obrigatório que sejam destinados à reciclagem ou compostagem.

Antes de apresentar o resultado da estimativa do potencial energético da biodigestão dos resíduos orgânicos no bairro Daniela, as duas próximas seções apresentam brevemente uma contextualização do bairro Daniela e uma justificativa para a geração local de energia.

### 4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA CIDADE FLORIANÓPOLIS E DO BAIRRO DANIELA

Florianópolis, capital de Santa Catarina, é um município extenso, com área de 675km<sup>2</sup>, compreendendo, conforme a Figura 2, parte insular e parte continental.

Figura 2 - Mapa das regiões de Florianópolis



Fonte: Site guiafloripa. Disponível em: <<https://guiafloripa.com.br/turismo/praias/>>.

Acesso em: 27 de set. 2021.

Diferente da maioria dos municípios, cujos centros tendem a ser mais densamente povoados do que suas periferias, a ocupação urbana de Florianópolis se dá nas fronteiras da cidade. Por boa parte de seu território estar situado em uma ilha, Florianópolis é mais densamente ocupada próximo ao seu perímetro e seus bairros mais importantes se formaram próximos às praias, o que remonta à formação histórica da cidade a partir de comunidades de pescadores.

A grande extensão territorial dos municípios e a dispersão espacial de seus aglomerados urbanos tornam a logística de gestão dos resíduos sólidos urbanos um desafio. Desde a promulgação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010, e a obrigatoriedade de cessar os lixões em todo o Brasil, a única opção de destinação final dos resíduos sólidos urbanos da Grande Florianópolis tem sido o aterro na cidade de Biguaçu, da empresa Veolia. Atualmente, este aterro é o único ponto de destino final dos rejeitos de classe II, o chamado “resíduo comum”, da Grande Florianópolis (CORREIO SC, 2021). Os resíduos coletados nos bairros são levados em caminhões até o Centro de Valorização de Resíduos (CVR) para pesagem, no bairro Itacorubi. Entre o Centro em Itacorubi e o local de destinação final em Biguaçu são 40 km. Desde as residências do Ribeirão da Ilha, no extremo sul, ou da Praia Brava, no extremo norte, até o destino final, o percurso total dos caminhões de coleta pode chegar a mais de 70 km.

Daniela conta com dezenas de lotes públicos, que podem ser destinados ao uso comunitário. Alguns deles já estão ocupados com a Capela, o Centro Comunitário, a Horta Comunitária e o parquinho infantil, por exemplo. Alguma, dentre as áreas verdes que ainda não tem equipamentos públicos, pode ser considerada para a construção de um biodigestor comunitário<sup>1</sup>.

Daniela recebe esse nome em homenagem a uma pessoa ainda viva, por este motivo a denominação oficial junto aos órgãos públicos é Praia do Potal de Jurerê, devido a sua configuração geográfica, que se caracteriza como uma ponta de areia que avança em direção a Ilha de Raton Grande. A Figura 3 mostra que o bairro tem uma configuração longelínea, com um lado delimitado pelo mar aberto outro pela foz do Rio dos Ratonos. O bairro é plano e próximo ao nível do mar. Além disso, boa parte da vegetação do bairro é mangue, o que faz com que o solo característico do bairro seja bastante alagadiço.

---

<sup>1</sup> Informação obtida a partir de conversa com Ana Caldas, presidente do Conselho Comunitário do bairro Daniela.

Figura 3 - Praia Daniela, em Florianópolis



Fonte: Site casalnomade. Disponível em: < <https://casalnomade.com/as-5-melhores-praias-de-florianopolis/>>. Acesso em: 25 de set. 2021.

O bairro Daniela é historicamente unido e engajado em melhorias. Por força da iniciativa comunitária, está sendo elaborado o primeiro sistema de drenagem comunitário do Brasil, possível graças ao apoio da comunidade. Essa união e disposição por sempre melhorar faz com que o Bairro Daniela seja visto como promissor para inovar na questão dos resíduos em Florianópolis. O bairro possui uma praia com excelentes qualidades balneárias. Com apoio governamental e forte esforço comunitário, a localidade se mantém tranqüila, bonita e afastada das pressões do turismo de massa, qualidades que muitos buscam, para fugir do estresse urbano.

Pinto (2012) identificou que os fatores que mais impactam na geração de resíduos são o número de moradores e a qualidade de vida de uma região. Com o bairro em franca expansão imobiliária e a chegada de novos moradores, atraídos inclusive pelo estilo de vida em *home office* proporcionado pela estrutura do bairro, espera-se um aumento na geração de resíduos no bairro. O constante aumento do consumo, o aumento da população e a administração pública trabalhando no sentido de melhorar a qualidade de vida dos habitantes proporcionam grande geração de resíduos sólidos urbanos. Assim, Pinto (2012) conclui que maciças e abrangentes campanhas de educação ambiental devem ser parte da solução, visando minimizar os impactos do desenvolvimento da sociedade através da diminuição da própria geração de resíduos, indo ao encontro da Lei 12.305/10 da PNRS.

A compostagem comunitária realizada no Bairro da Daniela estima que desvia seis toneladas de resíduos quatro vezes ao ano, o que corresponde a cerca de 24% do resíduo orgânico produzido no bairro. Considerando que a finalidade da Compostagem Comunitária é

dar uma boa destinação ao rejeito orgânico e produzir fertilizante, a opção por biodigestão pode satisfazer ambas as necessidades.

O bairro Daniela, que está em crescimento ao longo dos anos com a construção de novas casas, já sofre de constantes faltas de energia. Os vizinhos do bairro relatam prejuízos diversos causados pelas faltas de energia, principalmente durante os meses de verão. Não é coincidência, pois durante o verão a população do bairro, que em geral apresenta muitas casas vazias, aumenta a ponto de o sistema de distribuição e os transformadores não suportarem a demanda.

#### 4.2 JUSTIFICATIVA PARA GERAÇÃO LOCAL DE ENERGIA

O tratamento descentralizado para problemas locais serve como instrumento para o desenvolvimento da sociedade de forma sustentável, construindo uma sociedade mais participativa com agentes responsáveis. As adequações no modo como se lida com os resíduos sólidos, no sentido do reaproveitamento energético local, pode levar a geração de novos empregos de alto valor agregado e capacidade técnica (instalação e manutenção dos sistemas de biodigestão e aquecimento a gás, encanamento de cobre e outros) aumentando a capacidade local de atendimento a serviços e controle social efetivo (PHILIPPI, 1997).

Em um estudo no Semiárido Baiano, Leal e Sampaio (2021) perceberam que as iniciativas de gestão ambiental em diversos municípios ainda são incipientes, apesar de já estar em vigor há nove anos a Lei que regulamenta a PNRS. Além disso, o tratamento local elimina os custos desnecessários com o transporte desse insumo energético até distantes localidades, evita a necessidade de construção de grandes projetos centralizados, que exigem volumoso investimento e demoram para entrar em operação, elimina negociações políticas desafiadoras com grandes empresários e sistemas de interesse, facilita o controle social e comunitário do tratamento efetivo dos resíduos e contribui com economia na conta de energia elétrica em até 25%.

Porque gerar energia localmente?

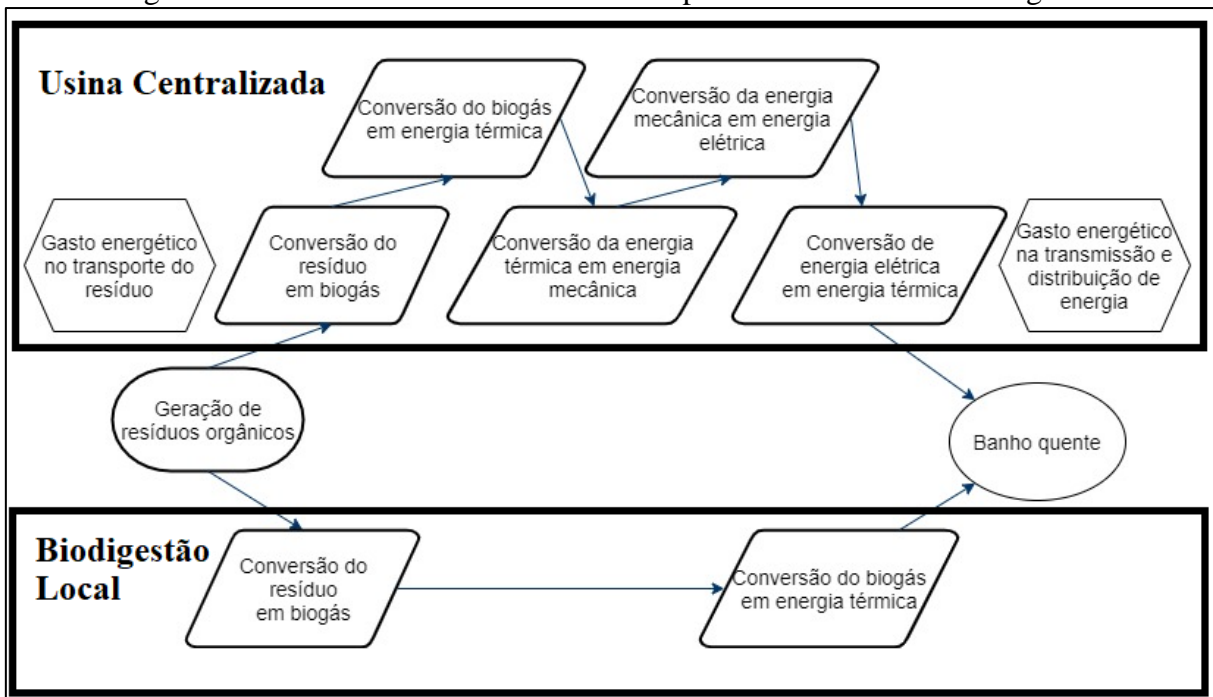
A utilização da energia local contribui para diminuir a pressão para construção de barragens para hidrelétricas, queima de combustíveis fósseis, desmatamentos para produção de lenha e construção de usinas nucleares, além de contribuir para o aumento da vida útil das instalações de distribuição de energia na cidade, uma vez que, com a diminuição da demanda,



qualquer investimento em melhoria da infraestrutura pode ser, ao menos em alguma medida, postergado.

O fluxograma na Figura 4 compara dois processos de aproveitamento do resíduo orgânico para satisfazer a demanda por energia térmica para uso no banho quente. A produção de energia elétrica a partir do resíduo envolve os custos de transporte dos resíduos até a planta centralizada de biodigestão, além de diversas conversões de formas de energia com suas respectivas perdas e ineficiências. Por fim, a energia elétrica produzida precisa ser transmitida e distribuída até os consumidores para a conversão final de energia elétrica em energia térmica no chuveiro elétrico. O aproveitamento do calor produzido pelo biogás direto para uso no aquecimento da água para banho tem uma eficiência global maior e reduz o carregamento no sistema de distribuição local.

Figura 4 - Fluxograma comparativo dos processos envolvidos no aproveitamento dos resíduos orgânicos numa usina termoeletrica com o aproveitamento local do biogás



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 4.3 ESTIMATIVAS DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO ENERGÉTICA NO BAIRRO DANIELA A PARTIR DE UM BIODIGESTOR E DE REDUÇÃO DA DEMANDA POR ENERGIA ELÉTRICA

A estimativa do potencial de produção de biogás em biodigestores necessita de informações sobre a população do bairro Daniela, a produção de resíduos *per capita* e a composição desses resíduos.

De acordo com o último Censo Demográfico, a população de Florianópolis era de 421.240 pessoas em 2010 e sua densidade demográfica, de 623 hab/km<sup>2</sup>. Devido à pandemia de Covid-19, o censo demográfico previsto para 2020 não foi realizado. Assim, utiliza-se uma estimativa da população para 2020 que, segundo o Panorama Cidades do IBGE (2020), é de 508.827 pessoas. A taxa de crescimento populacional da cidade na última década foi de 18,9%, equivalente a uma taxa constante de 1,89% de crescimento populacional ao ano, conforme (1).

$$r = \frac{\ln\left(\frac{N(T)}{N(0)}\right)}{T} = \frac{\ln\left(\frac{Pop_{2020}}{Pop_{2010}}\right)}{2020-2010} = \frac{\ln\left(\frac{508827}{421240}\right)}{10} = 1,889\% \quad (1)$$

Nesta equação  $r$  é a taxa de crescimento,  $N(T)$  é a população de Florianópolis estimada em 2020,  $N(0)$  é a população de Florianópolis em 2010 e  $T$  é o intervalo de tempo entre as duas estimativas.

Em 2010, o bairro Daniela contava com 787 pessoas residentes (IBGE/SIDRA, 2010). Considerando que a população do bairro cresceu de maneira proporcional ao crescimento da cidade, estima-se que o bairro Daniela tenha 969 moradores em 2021, conforme pode ser visto em (2).

$$N(T)_{Daniela} = N(0)_{Daniela} \times e^{r \times T} = 787 \times e^{0,01889 \times 11} \cong 969 \quad (2)$$

De acordo com o Livroto Compostagem Comunitária, lançado pela prefeitura em 2020, cada habitante de Florianópolis produz, em média, 1,14kg de resíduos a cada dia ou 416,1kg anualmente (FLORIANÓPOLIS, 2020).

A Tabela 1 prevê a quantidade do total de resíduos gerados no bairro, com base na população e no resíduo anual gerado pelo morador.

Tabela 1 – Estimativa do total de pessoas e resíduo produzido no bairro Daniela em 2021.

População	969 pessoas
Resíduo per capita (por ano)	416,1 kg
Resíduo total (por ano)	403.200 kg

Fonte: elaborada pelo autor.

Considerando a mesma proporção de resíduo orgânico (restos de alimentos e resíduos verdes como podas, restos de jardinagem e folhas varridas na limpeza pública), material reciclável (vidro, papel, metal e embalagens plásticas) e rejeito (materiais que não podem ser recuperados e descarte sanitário) que a PMF apresenta em seu site oficial<sup>2</sup> para o ano de 2019, a expectativa de geração de resíduos no bairro Daniela para o ano de 2021 se dará de acordo com o exposto na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização do resíduo anual gerado no bairro Daniela em 2021.

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade (kg)</b>	<b>Proporção (%)</b>
Restos de alimento	96.745	24
Resíduo seco	173.745	43
Podas	44.341	11
Rejeito	88.683	22
Total	403.104	100

Fonte: elaborada pelo autor.

Segundo Salunkhe et al. (2012), os restos de alimentos estão entre as melhores alternativas para a produção de biogás. Na maioria das cidades, os restos de alimentos são geralmente descartados junto com todo o seu potencial de geração de biogás, que é formado a partir da degradação anaeróbia da matéria orgânica, promovida por bactérias. O biogás gerado a partir do resíduo da cozinha tem cerca de 70% de metano e 30% de dióxido de carbono. O potencial calorífico do metano puro é de 8560 kcal em cada metro cúbico.

O potencial calorífico do biogás com 70% de metano pode ser determinado de acordo com (3).

<sup>2</sup> Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/comcap/index.php?cms=valorização+de+residuos+solidos&menu=0>

$$Potencial_{biogás} = Potencial_{m^3Metano} \times Proporção_{biogás}$$

$$Potencial_{biogás} = 8560 \times 70\% = 5.992 \frac{kcal}{m^3} \quad (3)$$

Segundo Deublein e Steinhauser (2008, apud OGUR, 2013), cada quilograma de restos de cozinha, quando bem digerido, produz 0,3 m<sup>3</sup> de biogás.

“[...] devido à sua grande potência e ao hábito brasileiro de tomar banho no horário de pico, ele se tornou um dos grandes responsáveis por esta ponta de consumo de eletricidade. O uso intensivo do chuveiro elétrico é apontado como um dos maiores vilões do consumo de energia residencial e um dos responsáveis pela ponta no sistema elétrico, chegando a ser responsável por até 26% do consumo total de energia elétrica do Brasil, durante alguns minutos do horário de ponta (Eletrobrás)” (PINHEIRO et al., 2006).

“O rendimento térmico de todos os chuveiros fabricados no Brasil é superior a 95% (INMETRO), mas o uso da eletricidade para o aquecimento de água para banho configura num mal uso do recurso energético. Quando se usa a energia elétrica em motores, o rendimento exergético pode chegar próximo à 100%. Quando se utiliza energia elétrica para aquecer água para banho (40°C) o rendimento exergético é de apenas (2,6%), desperdiçando-se 97,4% da capacidade de produzir trabalho (exergia). Qualquer fonte de calor menos nobre poderia ser utilizada para produzir calor a esta temperatura” (PINHEIRO et al., 2006).

Utilizando o biogás para aquecimento da água em *boiler*, a eficiência energética é de 70%, devido às perdas no acumulador e na distribuição da água quente pelos canos da residência. O chuveiro elétrico tem eficiência de 95% para esquentar a água próximo ao ponto de uso. Sabendo disso, para que o mesmo conforto térmico seja atingido, é preciso que 70% da energia térmica gerada pela queima do biogás equivalha a 95% da demanda elétrica dos chuveiros. O potencial do biogás é em torno de 6 mil kcal/m<sup>3</sup> (25.000 kJ/m<sup>3</sup>). A Tabela 3 mostra esse balanço.

Tabela 3 – Energia térmica gerada com o biogás e seu equivalente em eletricidade, quando ambas são utilizadas para aquecimento da água. – Estimativa de redução da demanda por energia elétrica no bairro Daniela.

	Quantidade	Proporção (%)
Total de resíduos gerado no bairro	403.104 kg	100%
Resíduo biodegradável	141.086 kg	35%
Biogás gerado a partir do resíduo biodegradável	42.330 m <sup>3</sup>	
Potencial calorífico total	295,28 MWh	100%
Energia do biogás aproveitada para aquecer a água	206,675 MWh	70%

Energia elétrica aproveitada para aquecer a água	206,675 MWh	95%
Redução da demanda por energia elétrica	217,553 MWh	100%

Fonte: elaborada pelo autor.

Um chuveiro elétrico tem vida útil de 15 anos e as estimativas da EPE apontam que a posse de chuveiros elétricos tende a diminuir nos próximos anos, justamente pela substituição destes por equipamentos aquecidos a gás ou por painéis solares-térmicos. Apesar da diminuição na quantidade de domicílios com chuveiro, a tendência é que a demanda de energia elétrica nas residências que mantêm este equipamento seja de aumento, pela troca por chuveiros mais potentes.

Para efeito de comparação, a demanda anual de energia elétrica dos chuveiros no bairro, considerando dois banhos diários de dez minutos, com 5,5 kW de potência, é estimada em (4).

$$Demanda = \frac{969 \times 2 \times 10 \times 365 \times 5,5}{60} = 648,422 \text{ MWh} \quad (4)$$

Sendo assim, a redução de 217,553 MWh representa uma diminuição de 34% na demanda por eletricidade que se destina ao aquecimento da água. A demanda energética para aquecimento da água do banho sem recorrer a eletricidade pode ser suprida com a utilização da energia solar-térmica.

Considerando a tarifa de energia cobrada pela Celesc para o grupo residencial normal, maioria no bairro da Daniela, cujo custo é de R\$ 505,99 por MWh, a redução de 217,553 MWh na demanda equivale a uma economia anual, em reais, calculada em (5).

$$Economia = 505,99[R\$/MWh] \times 217,553[MWh] = R\$ 110.079,64 \quad (5)$$

Além da redução da despesa com a compra da energia elétrica há, por parte da PMF, remuneração de R\$ 154,00 por cada tonelada de resíduo desviada do aterro sanitário, como calculado em (6).

$$Remuneração = 141[toneladas] \times 154[R\$/tonelada] = R\$ 21.714,00 \quad (6)$$

Sendo assim os benefícios financeiros anuais percebidos pelo bairro somam em torno de R\$ 131.793,64.



## 5 CONCLUSÃO

### 5.1 CONSIDERAÇÕES

O aproveitamento energético do biogás gerado a partir da biodigestão em biodigestores se mostra uma vantagem tanto do ponto de vista energético, como ambiental e social, indo ao encontro do que propõe a PNRS, pois, ao dar essa finalidade aos resíduos gerados há a promoção de um meio ambiente mais equilibrado, estímulo da economia, incentivando a participação social. A solução encontrada é local e escalável para outros bairros e cidades.

A própria geografia do bairro Daniela, que tem apenas uma entrada/saída, e a organização e união da comunidade fazem com que a gestão local como em um condomínio possa ser implementada. Num cenário mundial de esgotamento dos recursos naturais e de destruições cada vez mais irreversíveis, iniciativas sustentáveis já não são o bastante, pois seu sucesso é medido através da manutenção do *status* atual. Porém, o que se faz necessário são práticas e iniciativas regenerativas, que além de não causarem algum impacto negativo, ainda geram impacto positivo.

Com o tratamento local dos resíduos, o bairro torna-se mais sustentável do ponto de vista ambiental e econômico, pois reduz os custos da logística de descarte, que envolvem o recolhimento de porta em porta, o transporte até o CVR e a dispensa final no aterro sanitário. Ou seja, o tratamento local da porção orgânica dos resíduos sólidos reduz a quantidade de resíduos que deverá ser coletada e diminui o uso da capacidade do aterro sanitário. Além disso, o próprio bairro acaba se beneficiando, pois o tratamento local do resíduo orgânico produz energia na forma de biogás e biofertilizante líquido. O biofertilizante, utilizado no solo local, vai fortalecer as plantas e fixar mais carbono, produzir alimentos, revigorar árvores frutíferas e nativas. Isso se torna uma vantagem para o bairro, que conta com diversas áreas verdes, áreas de preservação e jardins de uso comum.

Considerando que o bairro é um balneário muito procurado para ser aproveitado até o entardecer, por possuir um belíssimo pôr-do-sol, muitos banhos são sincronizados na volta da praia. Segundo a Celesc, o banho é uma demanda concentrada num certo horário do dia, das 18h30min às 21h30min.

As vantagens do aproveitamento do biogás de biodigestores residenciais e/ou comunitários para aquecimento da água do banho ficam evidentes quando os custos ambientais de extração, geração, transmissão, distribuição e uso final de fontes fósseis de

energia ou geração renovável, como hidrelétricas, mas a grandes distâncias, são comparados à utilização do resíduo local.

Finalmente, o estudo aqui apresentado pode ser aplicado a outras comunidades, aumentando os benefícios obtidos à sociedade como um todo.

## 5.2 SUGESTÃO PARA NOVOS TRABALHOS

Realizar estudo integral da energia disponível nas diversas modalidades, energia solar-térmica para complementar o aquecimento por biogás, energia solar fotovoltaica, energia eólica. Estudar a capacidade de autossuficiência energética do bairro ou até mesmo um *superávit*, podendo a comunidade lucrar com a produção e comercialização de excedentes de energia elétrica, biogás, composto orgânico e alimentos orgânicos. Aplicar o estudo a outras comunidades.



## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. N.; PEDROTTI, A.; BITENCOURT, D. V.; SANTOS, L. C. P. A problemática dos resíduos sólidos urbanos. **Interfaces Científicas** - Saúde e Ambiente, v. 2, n. 1, p. 25-36, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. São Paulo: ABRELPE, 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 20 abril 2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Eficiência energética. Brasília : MME : EPE, 2007.

BRASIL, **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Resenha **energética brasileira** – exercício de 2019. Brasília: MME, maio 2020. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/documents/36208/948169/Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+-+edi%C3%A7%C3%A3o+2020/ab9143cc-b702-3700-d83a-65e76dc87a9e>. Acesso em: 20 março 2021.

CORREIO SC. Aterro sanitário de Biguaçu terá usina de biogás até final do ano. **Correio de Santa Catarina**, 3 de novembro de 2020. Disponível em: <https://www.correiosc.com.br/aterro-sanitario-de-biguacu-tera-usina-de-biogas-ate-final-do-ano/>. Acesso em: 19 fevereiro 2021.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources: an introduction**. John Wiley & Sons, 2011

FLORIANÓPOLIS. Prefeitura Municipal. Comcap. **Compostagem comunitária** – um guia completo sobre valorização e gestão de resíduos. Florianópolis, 2020. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/LivretoCompostagem.pdf>. Acesso em: 17 fevereiro 2021.

FLORIANÓPOLIS. **Lei Municipal n. 10.501, de 08 de abril de 2019**. Dispõe sobre a obrigatoriedade da reciclagem de resíduos sólidos orgânicos no município de Florianópolis.

GALVÃO, L. C. R.; SAIDEL, M. A.; RIBEIRO, F. S.; UDAETA, M. E. M. Energia de resíduos sólidos como mecanismo de desenvolvimento limpo. 4th Encontro de Energia no Meio Rural, **Anais...**, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010**. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Tabela 202 - População residente, por sexo e situação do domicílio. Bairro Daniela, Florianópolis, Santa Catarina: IBGE/SIDRA, 2010. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/202#/n102/4205407123/v/allxp/p/last%203/c2/all/c1/01/v,p+c2,t+c1/resultado>. Acesso em: 18 fevereiro 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Florianópolis – SC. **Panorama, 2020**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/florianopolis/panorama>. Acesso em: 18 fevereiro 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Características gerais dos domicílios e dos moradores 2019**. PNAD Contínua. 2020. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101707\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101707_informativo.pdf). Acesso em: 12 abril 2021.

LEAL, T. L. M. C.; SAMPAIO, R. J. Gestão dos resíduos sólidos: o caso do consórcio de desenvolvimento sustentável do alto sertão na Bahia. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 13, n. 4, 2021.

LEÃO, R. A Agenda 2030 das Nações Unidas e as energias renováveis no Brasil. **Radar**, v.60, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9398>. Acesso em: 19 março 2021.

MAIA, H. J. L.; ALENCAR, L. D.; BARBOSA, E. M.; BARBOSA, M. F. N. Política Nacional de Resíduos Sólidos: um marco na legislação ambiental brasileira. **POLÊM!CA**, v. 13, n. 1, p. 1070-1080, 2014.

MONTEIRO, J. H. P. et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

OGUR, E. O.; MBATIA, S. Conversion of kitchen waste into biogas. **The International Journal of Engineering and Science (IJES)**, v. 2, n. 11, p. 70-76, 2013.

PHILIPPI, L. S. **Saneamento descentralizado como instrumento para o desenvolvimento sustentável**. 1997. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

PINHEIRO, P. C. C. Análise comparativa dos sistemas de aquecimento de água residencial. In: **11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering (ENCIT 2006)**, 2006.

PINTO, M. R.; PEREIRA, D. R. M.; FREITAS, R. C. Fatores sociais, econômicos e demográficos associados à geração de lixo domiciliar na cidade de Belo Horizonte. **REUNA**, Belo Horizonte – MG, v.17, n.2, p. 27-44, 2012.

SALUNKHE, D. B.; RAI, R. K.; BORKAR, R. P. Biogas technology. **International Journal of Engineering Science and Technology**, v. 4, n. 12, p. 4934-4940, 2012.