

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

Departamento de Engenharia Química

Nº XXX

D

E

Q



Trabalho de Conclusão de Curso

***USO DA METANÁLISE PARA AVALIAÇÃO DO
PERFIL GRAVIMÉTRICO, DA COMPOSIÇÃO
QUÍMICA E POSSÍVEIS ROTAS DE
APROVEITAMENTO PARA OS RESÍDUOS DE
ALIMENTOS NO BRASIL***

João Paulo Tavares Das Mercês

Orientador(a): Emmanuel Damiliano Dutra

Co-orientador(a): Íthalo Barbosa Silva De Abreu

DEQ – Departamento de Engenharia
Química

Cidade Universitária- Recife – PE

CEP. 50640-901

Telefax: 0-xx-81- 21268717

Recife/PE

2022

JOÃO PAULO TAVARES DAS MERCÊS

**USO DA METANÁLISE PARA A AVALIAÇÃO DO PERFIL GRAVIMÉTRICO, DA
COMPOSIÇÃO QUÍMICA E POSSÍVEIS ROTAS DE APROVEITAMENTO PARA RESÍDUOS
DE ALIMENTOS NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Química da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito parcial à
obtenção do grau Bacharel em Engenharia
Química.

Orientador(a): Prof.(a) Dr(a) Emmanuel
Damiliano Dutra.

Co-orientador(a): Íthalo Barbosa Silva De Abreu

Recife
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Mercês , João Paulo Tavares das .

Uso da metanálise para a avaliação do perfil gravimétrico, da composição química e possíveis rotas de aproveitamento para os resíduos de alimentos no Brasil. / João Paulo Tavares das Mercês . - Recife, 2022.

56 : il., tab.

Orientador(a): Emmanuel Dutra

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de

Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Química -

Bacharelado, 2022.

Inclui referências, anexos.

1. Resíduos Alimentares. 2. Gravimetria. 3. Composição Química. 4.

Reaproveitamento energético. 5. Metanálise.. I. Dutra , Emmanuel.

(Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

MAPA DE NOTAS

NOME DO EXAMINADO: JOÃO PAULO TAVARES DAS MERCÊS

CURSO: ENGENHARIA QUÍMICA

DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TEMA: “Uso da metanálise para a avaliação do perfil gravimétrico, da composição química e possíveis rotas de aproveitamento para os resíduos de alimentos no Brasil.”

DATA: 20/05/2022

HORÁRIO: 09:00h

LINK PARA SALA VIRTUAL NO GOOGLE MEET: [HTTP://MEET.GOOGLE.COM/KGK-CQRT-SYM](http://meet.google.com/KGK-CQRT-SYM)

Redação	Apresentação Oral	Domínio	Média e Resultado	Observações
8,0	8,5	8,5	8,33	Oito vírgula trinta e três

Documento assinado digitalmente
gov.br Emmanuel Damilano Dutra
Data: 27/05/2022 07:53:10-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Orientador (a): EMMANUEL DAMILIANO DUTRA

Documento assinado digitalmente
gov.br MAURICIO ALVES DA MOTTA SOBRINHO
Data: 23/05/2022 10:16:35-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

1º Examinador (a): MAURICIO ALVES DA MOTTA SOBRINHO

Documento assinado digitalmente
gov.br EDILÂNDIA FARIAS DANTAS
Data: 24/04/2024 10:34:45-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

2º Examinador (a): EDILÂNDIA FARIAS DANTAS

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, CNPJ: 24.134.488/0001-08
Departamento de Engenharia Química - CTG
Av.Prof.Artur de Sá S/N, Cidade Universitária, CEP 50740-521 Recife-PE
Fone (81) 2126-7293, e-mail: secretaria.eq@ufpe.br

DEDICATÓRIA

De início, gratidão pelo todo apoio concedido pelo professor/orientador Emmanuel Damiliano Dutra e ao coorientador Íthalo Abreu da BERSO (Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos Orgânicos).

Aos meus familiares, principalmente minha mãe, que apesar de ter partido para outro o plano espiritual em 2021, sem o apoio e ensinamentos dela durante quase toda minha vida ficaria tudo mais difícil.

Aos meus amigos do ensino médio, da graduação de engenharia química, do centro espírita, da empresa júnior BENS – Soluções Sustentáveis, do estágio na Votorantim, do projeto Engaja Eco, do pré-vestibular social Portal, Global Shapers Recife e de outros núcleos sociais que me fortaleceram emocionalmente nos momentos mais complicados e leves da vida.

Me sinto privilegiado por todas essas pessoas na minha vida e terem me dado um apoio emocional, psicológico, financeiro e estudantil para que eu pudesse alcançar lugares que jamais imaginaria alcançar, como já dizia um provérbio africano *“Se quer ir rápido, vá sozinho. Se quer ir longe, vá acompanhado”*.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecimentos a orientação do professor Emmanuel Dutra e do doutorando Íthalo Abreu, por concedido um apoio imensurável desde o início da iniciação científica na BERSO e no desenvolvimento desde trabalho de conclusão de curso.

Agradecimentos aos professores do DEQ (Departamento de Engenharia Química) fornecido uma base técnica/científica que consolidaram a realização deste trabalho.

RESUMO

Com o crescimento da população brasileira nos últimos anos, tem-se observado um aumento da geração de resíduos e a ineficiência de políticas de destinação correta dos resíduos alimentares no Brasil. Este cenário provoca o estudo da composição gravimétrica e química a fim de analisar as melhores rotas de reaproveitamento energético desses resíduos alimentares. Este estudo é constituído por três eixos principais. O primeiro tópico é estudo da gravimetria dos resíduos alimentares no Brasil, a fim de unir as informações separou-se em quatro grandes grupos: “Hortaliças, legumes e frutas”, “Grãos”, “Carnes e laticínios” e “Outros tipos de resíduos”, sendo o primeiro e terceiro grupos possuem parcelas consideráveis dentro da gravimetria. O segundo eixo é o estudo da composição química, com intuito de facilitar as informações se dividiu em três grandes grupos principais de moléculas: carboidratos, lipídeos e proteínas. Dessa forma, na revisão de literatura encontrou-se um estudo analisando a composição química de um grupo de resíduos alimentares e dos principais alimentos dos brasileiros. Observou-se que os carboidratos, em grande parte, predominam com um percentual maior de 10% em quase todos os resíduos alimentares, em seguida os lipídios (em torno de 2%) e as proteínas (em torno de 1%). No último eixo se analisou os possíveis reaproveitamentos energéticos dos resíduos alimentares, como são diversos foram investigados: biogás, bioetanol, integração do bioetanol e biogás, biodiesel, biohidrogênio e bióleo. Posteriormente, a partir das informações analisadas dos outros tópicos, realizou-se um balanço de massa com intuito de analisar a gravimetria química (quantidade carboidrato, lipídeo e proteína) de 1000 Kg, a partir disso analisar as melhores rotas energéticas. Portanto, os carboidratos, em que tiveram maior porcentagem, tem-se os melhores reaproveitamentos para produção de biogás e bioetanol já que o principal substrato este grupo; para os lipídeos são mais bem reaproveitados para produção de biodiesel e bióleo; E para as proteínas não possuem estudos com rotas mais eficientes. Além disso, é possível integrar diversas rotas energéticas para mesma biomassa.

Palavras-chaves: Resíduos alimentares, gravimetria, composição química, reaproveitamento energético e metanálise

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Hierarquia de recuperação de alimentos.	20
Figura 2 – Fluxograma da produção de bioetanol.	22
Figura 3 – Fluxograma geral do processo de biodigestão anaeróbica.	25
Figura 4 - Fluxograma geral de reaproveitamento integrado.	30
Figura 5 – Exemplo de rota integrada.	31
Figura 6 – Resumo do processo da produção de biohidrogenio.	32
Figura 7 – Processo de produção de biodiesel por transesterificação.	34
Figura 8 – Rotas de reaproveitamento energético integrado.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de RSU por regiões brasileiras.	14
Tabela 2 – Panorama de coleta seletiva nas regiões brasileiras.	14
Tabela 3 - Composição de resíduo alimentar de residências.....	17
Tabela 4 – Vantagens e desvantagens da produção de bioetanol por meio dos resíduos.	24
Tabela 5 – Vantagens e desvantagens da produção de biogás por meio dos resíduos alimentares.....	27
Tabela 6 – Levantamento da gravimetria dos resíduos alimentares.	37
Tabela 7 – Hábitos alimentares por regiões brasileiras.....	38
Tabela 8 – Percentual de perdas/desperdícios de frutas, legumes e hortaliças.	40
Tabela 9 – Composição química dos principais constituintes dos resíduos alimentares.	41
Tabela 10 – Composição química dos principais frutos, legumes e hortaliças desperdiçados.	42
Tabela 11 – % das composições químicas dos artigos sobre a massa seca.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aprelpe - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

CEASA - Centros de Abastecimento Alimentação Nacional;

EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos *“United States Environmental Protection Agency”*

GEE - Gases de Efeito Estufa

PCI - Poder Calorífico Inferior

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

POF - Pesquisa de Orçamentos Familiares

RSU - Resíduo Sólido Urbano

SN- Somogyi-Nelson

TCC - Trabalho de Conclusão de Curso

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
2.	OBJETIVOS	13
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	Error! Bookmark not defined.
	3.1 GRAVIMETRIA DOS RESÍDUOS DO BRASIL	14
3.1.1	Gravimetria de resíduos sólidos urbanos	14
3.1.2	Gravimetria dos resíduos alimentares no Brasil	15
3.2	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS RESÍDUOS ALIMENTARES	16
3.2.1	Carboidratos	17
3.2.2	Lipídeos	18
3.2.3	Proteínas	19
3.3	REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS ALIMENTARES	20
3.3.1	Produção de bioetanol	21
3.3.2	Produção de biogás	25
3.3.3	Produção integrada de Bioetanol e Biogás	29
3.3.4	Produção de Bióleo	31
3.3.5	Biohidrogênio	32
3.3.6	Biodiesel	32
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	36
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1	GRAVIMETRIA DOS RESÍDUOS ALIMENTARES	37
5.2	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS RESÍDUOS ALIMENTARES	40
5.3	REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS ALIMENTARES	43

5.3.1	Carboidratos	43
5.3.2	Lipídeos	44
5.3.3	Proteínas	44
5.3.4	Integração de reaproveitamentos energéticos	44
6.	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

Com aumento de áreas plantadas e de produção de alimentos, a partir da década de 1950, bem como aceleração no processo de urbanização, houve uma maior geração de resíduos alimentares, tanto das culturas voltadas para a indústria como para a alimentação. Tal resíduo orgânico inicialmente era disperso e reutilizado na área rural, sendo majoritariamente descartado no ambiente, no aterro sanitário ou utilizado para a geração de energia térmica, por meio de sua queima (TCHOBANOGLIOUS; KREITH, 2002).

Os resíduos sólidos são definidos pela Lei 12305/10 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010) em seu art. 3º, inciso XVI define resíduos sólidos como:

“(...) 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 técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”.

Portanto, a definição de resíduos sólidos de acordo com tal política, pode ser para todo material em estado físico sólido ou semissólido que não possa ser descartado para um sistema de tratamento de esgoto. Além disso, se o resíduo sólido advém de um centro urbano é classificado como Resíduo Sólido Urbano (RSU).

Com o crescimento populacional no Brasil e no mundo nos últimos anos, houve um aumento na geração de RSU, esses podem ser de fontes domiciliares, industriais e hospitalares. Isso é demonstrado no aumento de resíduos coletados de 59 milhões toneladas em 2010 para 72,7 milhões de toneladas em 2020. De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020/2021 (ABRELPE, 2021), foram gerados 82,5 milhões de toneladas de RSU no país em 2020. Além disso, o mesmo panorama demonstra uma relação significativa de renda per capita dos estados brasileiros com a geração de RSU, a exemplo é o Sudeste, com a maior renda per capita do país, foi responsável de em torno 50% da geração do RSU nacional. Por outro lado, regiões como Nordeste e Norte, que possuem uma renda per capita menores têm uma cobertura de coleta seletiva menor do país, com cerca de 20% dos RSU não coletados (ABRELPE, 2021).

Há uma problemática da destinação desses resíduos, no Brasil em 2020 cerca de 46 milhões de toneladas foram enviadas para aterro sanitário (representando cerca de 60% dos

RSU) e em torno de 40% são levados para áreas inadequadas (lixões e aterros controlados), evidenciando problemáticas na destinação dos resíduos (ABRELPE, 2021). Os resíduos alimentares constituem aproximadamente 50% dos RSU. Em 2018 foram gerados cerca de 15,9 milhões de resíduos de alimentos no Brasil (ABRELPE, 2019). Os resíduos alimentares, em sua grande maioria, são descartados junto com outros tipos de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários. A destinação para aterros sanitários sem prévia separação e compostagem provocam impactos ambientais mais significativos se comparados com resíduos levados para aterros com tratamento prévio, logo, há uma grande perda de potencial energético e geração de impacto ambiental negativo (GOMES *et al.*, 2015).

Ao observar esse contexto nacional das formas de destinação dos resíduos alimentares, é visto que o potencial energético dessa biomassa é desperdiçado, já que pode ser utilizada como substrato para a produção de combustíveis líquidos e gasoso, fertilizantes e entre outros reaproveitamentos. Karmee (2016) demonstra uma revisão com os principais combustíveis líquidos derivados de resíduos de alimentos: bioetanol, biodiesel e bióleo. Já Han e Shin (2004) apresentam a conversão à biohidrogênio, combustível de alto poder calorífico. Ademais, Zhang *et al.* (2013) demonstram o potencial dessa mesma biomassa para a conversão à biogás através de biodigestão anaeróbica, demonstrando um caminho de possibilidades para a destinação energética dos resíduos alimentares.

Os resíduos alimentares precisam-se de um estudo mais detalhado para estudo da sua composição gravimétrica, repartindo em tipologia dos alimentos. Em seguida, encontrar a composição química (Carboidratos, lipídeos e proteínas) e, por fim, verificar quais as melhores rotas energéticas para cada gravimetria e composição química.

2. OBJETIVOS

Observando-se o percentual significativo dos resíduos alimentares nos RSU brasileiro e dos possíveis destinos, este trabalho tem como objetivo buscar formas de analisar nacionalmente o contexto dos resíduos alimentares, já que existem poucos estudos para esses tipos de análises, e com os seguintes objetivos específicos:

- Estratificar dados da composição gravimétrica dos resíduos alimentares em regiões brasileiras, dividindo-se no seu tipo e descrevendo as possíveis causas socioambientais para as diferenciações das composições;
- Estratificar dados da composição química dos resíduos alimentares em regiões brasileiras, dividindo-se em três grupos de moléculas principais: carboidratos, lipídeos e proteínas, e descrevendo as razões das diferenciações para as composições químicas dos alimentos;
- Buscar formas de destinações e aproveitamentos energéticos mais adequadas dos resíduos alimentares dos artigos achados e de maneira geral.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 GRAVIMETRIA DOS RESÍDUOS DO BRASIL

3.1.1 Gravimetria de resíduos sólidos urbanos

Sobre os estudos mais recentes de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), o publicado em 2021 pela Abrelpe demonstra que 92,2% dos 76,1 milhões de toneladas de RSU geradas no Brasil foram coletadas, sendo que 35,8 milhões de toneladas foram coletados e destinados de maneira incorreta. As Tabelas 1 e 2 demonstram que o cenário brasileiro em termos de destinação e coleta seletiva ainda é bastante defasado, principalmente em regiões de desfavorecimento econômico mais acentuado como Nordeste e Norte do Brasil.

Tabela 1 - Quantidade de RSU por regiões brasileiras.

Regiões	RSU Total de 2020 (Kg/Habitante/Dia)	Participação das regiões na geração de RSU (%)
	0,898	
Norte	0,971	7,4
Nordeste	1,022	24,7
Centro-oeste	1,262	7,5
Sudeste	0,805	49,7
Sul	1,067	10,8
Brasil		-

Fonte: APRELBE, 2021.

Tabela 2 – Panorama de coleta seletiva nas regiões brasileiras.

Regiões	Sim	Não
Norte	65,30%	36,70%
Nordeste	56,70%	43,30%
Centro-oeste	50,5%	49,5%
Sudeste	90,6%	9,4%
Sul	91,20%	8,8%
Brasil	74,40%	25,60%

Fonte: APRELBE, 2021.

As Tabelas 1 e 2 demonstram que a maior geração de resíduos sólidos urbanos se dá nas regiões de maior desenvolvimento econômico e da mesma forma há uma cobertura na coleta seletiva das regiões predominantes na região sul e sudeste.

No Brasil, os dados mais recentes de composição gravimétrica dos RSU são demonstrados no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), relatando uma composição média de 51,4% de materiais orgânicos, 31,9% de materiais recicláveis e 16,7% listados como outros (rejeitos, perigosos, etc.).

3.1.2 Gravimetria dos resíduos alimentares no Brasil

A composição gravimétrica pode mudar de acordo com o desenvolvimento de uma região. Segundo Alcântara (2007) a relação de desenvolvimento da região e a produção de resíduos orgânicos são diretamente proporcionais, visto que as classes mais desenvolvidas tendem a consumir mais produtos industrializados. Por outro lado, os resíduos orgânicos de classes mais desfavorecidas podem representar 70% do total, pois consomem mais produtos *in natura*.

O desperdício de alimentos, segundo um estudo feito por Teixeira e Cubas (2019) em um mercado regional de Curitiba, dos 2.165,96 kg de resíduos alimentares analisados: 12,6% estavam aptos para compostagem, 26,23% favoráveis para alimentação animal e 61,21% para alimentação humana. Essa situação pode ser explicada por diferentes fatores, como a falta de informação dos trabalhadores do mercado associados à ausência de uma estrutura de coleta seletiva.

Outra característica para o grande volume de desperdício alimentar no Brasil é hábito social dos brasileiros, A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa (2021) demonstrou que 61% dos brasileiros priorizam uma grade compra mensal de alimentos, tal hábito favorece um aumento das compras de itens desnecessários e levando ao desperdício. Além disso, o hábito de comprar em fatura combinado com baixo planejamento de compras agravam o aumento da geração de resíduos alimentares. Em um estudo foi verificado que 94% dos entrevistados afirmam ser importante evitar o desperdício alimentar, mas 68% afirmam que valorizam muito ter a despensa/geladeira cheia e 59% não dão importância se houver comida demais na mesa ou na despensa (ALCANTARA, 2007).

Utilizando técnicas multiderivadas estatísticas, a cidade do Recife - PE foi setorizada em regiões, sendo a geração de resíduos sólidos e os resíduos alimentares, de maneira que foi

evidenciada a relação de proporcionalidade da população, da renda domiciliar e per capita com a quantidade de alimentos desperdiçados (SILVA et al., 2020). A renda e a geração per capita demonstraram uma forte correlação positiva, o que difere da correlação negativa com a população. Dessa forma, a renda demonstrou-se o principal indicador para geração de resíduos alimentares produzidos nesse estudo.

No contexto internacional, um estudo realizado por Li *et al.* (2013) demonstrou a composição gravimétrica dos resíduos alimentares dos restaurantes próximos da University of South Carolina. O resíduo foi separado em quatro categorias: restos alimentares (sem ossos), materiais alimentares contendo ossos, materiais de embalagens e outros. Dessa forma, foram pesados e caracterizados, posteriormente, os resíduos foram triturados e homogeneizados medindo os percentuais de umidade, energética e entre outras variáveis, demonstrando a complexidade dos resíduos alimentares.

Um outro estudo realizado em Hong Kong demonstrou que a separação dos alimentos pela sua tipologia pode contribuir para diferentes rotas, a separação do estudo foi dada da seguinte forma: frutas e vegetais podres; órgãos de peixes e aves, intestino, aparas de carne e outros resíduos; cascas de frutas e vegetais; carne, peixe, conchas de marisco, ossos; gorduras alimentares, molhos, condimentos; sopa, polpa, polpa medicinal à base de plantas; cascas de ovos, queijos, sorvetes, iogurtes; folhas de chá, saquinhos de chá, borra de café; pão, bolos, biscoitos, sobremesas, compotas; cereais de todos os tipos, por exemplo o macarrão de arroz, aveia; raspas de prato e restos de comida cozida; cru para churrasco ou sobras cozidas; e diferentes alimentos para animais de estimação (ENVIRONMENT BUREAU, 2022).

3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS RESÍDUOS ALIMENTARES

A composição química do resíduo alimentar varia de acordo com esses fatores regionais (como comidas típicas da região, renda da população etc.) e da variabilidade das condições ambientais. No entanto, segundo Karmee (2016) e Matsakas *et al.* (2014) reafirmou que estabelecido da literatura a existência de macromoléculas como os lipídeos, carboidratos, aminoácidos, fosfato, vitaminas, proteínas, lignina e cinzas nos alimentos.

É possível perceber que existe uma alta concentração de carboidratos nos resíduos alimentares, como demonstrado na Tabela 3, sejam eles monossacarídeos, na forma de açúcares redutores, ou complexos, como na forma de celulose e hemicelulose.

Tabela 3 - Composição de resíduo alimentar de residências.

Fonte	Fração % m/m
Matsakas <i>et al.</i> (2014)	Solúvel 33.81 ± 0.42
	Glicose 4.39 ± 0.20
	Frutose 3.47 ± 0.12
	Sacarose 4.38 ± 0.10
	Açúcares redutores totais 12.54 ± 0.93
	Proteínas 0.54 ± 0.01
	Lipídeos 11.91 ± 0.68
	Proteína bruta 10.51 ± 0.37
	Pectina 3.92 ± 0.33
	Celulose 18.30 ± 0.19
Zhang; Su; Tan (2013)	Hemicelulose 7.55 ± 0.39
	Lignina de Klason 2.16 ± 0.25
	Cinzas 11.03 ± 0.42
	Característica Valor
	pH $4,4 \pm 0,2$
	Sólidos Totais (%) $25,7 \pm 0,3$
	Sólidos Voláteis (%) $23,4 \pm 0,3$
	Composição de Sólidos Voláteis 80,9
	Óleos (g/L) $0,7 \pm 0,2$
	Carbono Orgânico (%) $51,8 \pm 2,0$
	Nitrogênio Orgânico (%) $2,9 \pm 0,2$
	C/N $17,9 \pm 0,9$
	Na+ (%) $2,8 \pm 0,1$
	K+ (%) $2,1 \pm 0,1$
	Mg2+ (%) $0,17 \pm 0,1$
	Ca2+ (%) $0,4 \pm 0,02$
	Fe3+ (ppm) 106 ± 13
	Mn2+ (ppm) 129 ± 56
	Zn2+ (ppm) 192 ± 46

3.2.1 Carboidratos

Segundo a definição de Nelson (2014) os carboidratos são constituídos de poli-hidroxiketonas ou poli-hidroaldeídos, ou podem formar novos compostos (como glicose e frutose) ao hidrolisarem. Existem três classes principais de carboidratos: os monossacarídeos, nas quais possuem uma unidade poli-hidroxialdeído; os oligossacarídeos, que possuem unidades curtas de monossacarídeos unidas por ligações glicosídicas; e os polissacarídeos que contêm mais de 20 unidades de monossacarídeos.

As principais fontes dos carboidratos nos alimentos advêm de produtos de panificação, confeitaria, cerveja, doces em geral, massas, frutas e alguns tubérculos. Pela diversidade de materiais presentes, há uma grande variedade de carboidratos presentes no resíduo alimentar, tais como: frutose, glicose, maltose, pectinas, amido, celulose, lactose, sacarose e entre outras substâncias, sejam sintéticas ou naturais (GABRIELA, 2017). Para determinação deste grupo,

uma solução de glicídios presentes e livres de interferentes, geralmente utilizam-se os chamados clarificados, as determinações mais comuns são: solução neutra de acetato de chumbo, creme de albumina, solução básica de acetato de chumbo e entres outros. A determinação é embasada nas capacidades de redução dos grupos mais simples, como a hidrólise, ou das propriedades físicas (INSTITUTO ADOLFO LUIZ, 2005).

Outra metodologia de determinação é por meio do espectrofotômetro, na qual permite comparar a intensidade da luz transmitida por meio da luz absorvida, a técnica mais utilizada é Somogyi-Nelson (SN) por meio da absorbância de um complexo formado entre açúcar, cobre oxidado e arsênio-molibdico. Dentro desse universo ainda se tem espectrofotômetro pelo método do Fenol-Sulfúrico (FS) resume-se a desidratação dos açúcares em meio ácido concentrado e posterior complexo com fenol. (MALDONADE *et al.* 2013)

Em geral, por utilizar os métodos de redução faz-se necessário titular um volume de óxido de Cu I precipitado de uma solução de íons de Cu II por meio de um volume previamente conhecido da solução de carboidratos. Sendo calculados por diversos fatores com a determinação de açúcares redutores em glicose, e as dos não-redutores em sacarose e os que são hidrolisados por meio de enzimas ou ácido (INSTITUTO ADOLFO LUIZ, 2005).

3.1.2. Os

Os lipídeos são um grupo bem diverso nas quais as principais moléculas deste grupo são: glicerídeos, cerídeos, fosfolipídios e esteroides. No entanto, a característica mais comum é a insolubilidade em água. Esse composto pode desempenhar funções de: armazenamento de energia, cofatores enzimáticos, transporte de elétrons, âncoras hidrofóbicas para proteínas, agentes emulsificantes e entre outros (NELSON, 2014).

Os lipídios são encontrados nas células e na excreção dos seres vivos. No reino vegetal, podem ser identificadas nas oleaginosas, como castanhas, nozes e grãos. No reino animal, os lipídeos é a principal reserva energética dos seres vivos sendo encontrados principalmente numa alimentação onívora (GABRIELA, 2017).

A determinação dos lipídeos se dá pela maioria das vezes por extração de solventes, sendo usada geralmente nos equipamentos do tipo *Soxhlet*, posteriormente removido por destilação do solvente utilizado ou evaporação. Tal operação unitária resulta um resíduo que contém lipídeos, mas na maioria das vezes possuem outras substâncias interferentes, mesmo de maneira insignificante, como ácidos graxos livres, vitaminas, pigmentos etc. Outros métodos

podem ser utilizados como: Bligh-Dyer ou Folch, Gerber ou Stoldt- Weibull, e método Rose-Gotllieb-Mojonnier (SOUZA, 2018).

P3.r2o.t3e ínas

As proteínas são polímeros de aminoácidos, nas quais são unidas por ligações covalentes e possuem 20 tipos de aminoácidos que podem se combinar e formar diversos tipos de proteínas. Esse grupo de moléculas desempenha as funções de expressão genética, funções hormonais e musculares, imunidade biológica e são catalisadores em quase todas as reações biológicas (NELSON, 2014).

As suas fontes em alimentos podem ser diversas seja por origem vegetal, como os aminoácidos encontrados nos grãos (arroz, feijão, soja etc.) e alguns legumes (espinafre, brócolis, couve-flor, cogumelos etc.) ou por origem animal (carnes, ovos e lácteos). As principais substâncias são: lecitinas, proteases, pepsinas, papaína, cisteína e entre outros (GABRIELA, 2017).

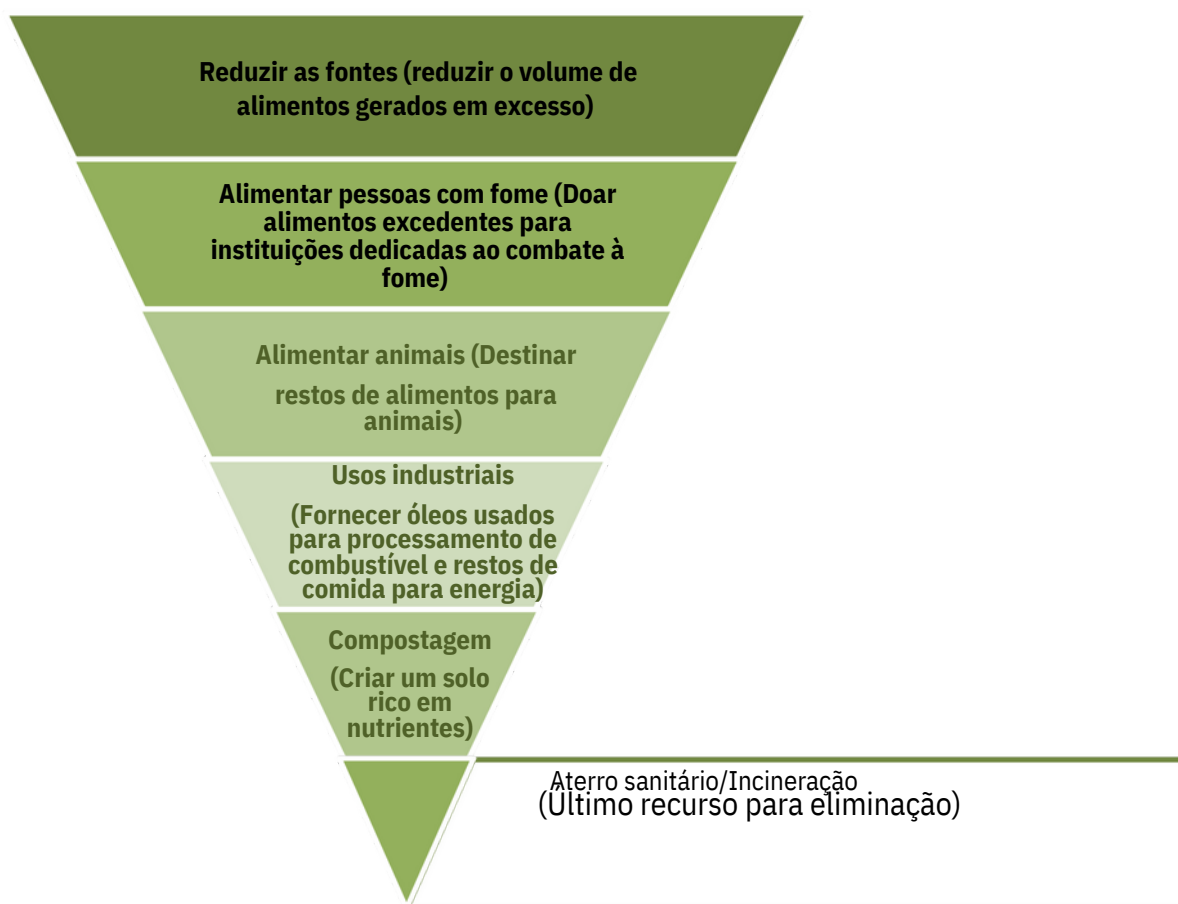
A quantificação é baseada na quantidade de nitrogênio, comumente feita pelo processo de digestão do Kjeldahl, na qual constitui de três etapas, e podem sofrer modificações de acordo com a necessidade de digestão, destilação e titulação. Na transformação da matéria orgânica, o nitrogênio transforma-se em amônia, e segue abaixo um detalhamento maior dessas etapas (INSTITUTO ADOLFO LUIZ, 2005):

- Digestão: O material analisado é decomposto por meio de um catalisador e ácido sulfúrico, ou seja, usando o nitrogênio e transformando em sal amoniacal;
- Destilação: Formação da amônia advinda do sal amoniacal reagido com hidróxido de sódio, recebida por um volume de ácido e concentração conhecida;
- Titulação: Determinação da quantidade de nitrogênio com a titulação do ácido em excesso usado na destilação com hidróxido de sódio;
- Com a determinação da quantidade nitrogênio, aplica-se o fator de conversão (específico para cada tipo de alimento) e acha-se a quantidade de proteína.

3.3 REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS ALIMENTARES

Existem diretrizes para o reaproveitamento dos resíduos alimentares para diversas fontes, na qual demonstra na hierarquia de Recuperação do Alimento (*Food Recovery Hierarchy*), criado pela *United States Environmental Protection Agency* (EPA), com o objetivo de reduzir os impactos ambientais da destinação incorreta dos resíduos alimentares, como demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Hierarquia de recuperação de alimentos.



Fonte: Adaptado do Environmental Protection Agency (2020).

A diretriz tem como objetivo que as organizações, sejam governamentais ou não, quais prioridades das ações de prevenção e redução dos resíduos alimentares destinadas para aterros sanitários. Ao observar a pirâmide é possível visualizar os diferentes níveis de foco para estratégias de gerenciamento dos resíduos alimentares, na qual de baixo para cima é prioridade das ações, aos que estão no topo são preferenciais por reduzirem os impactos negativos ambientais, econômicos e sociais.

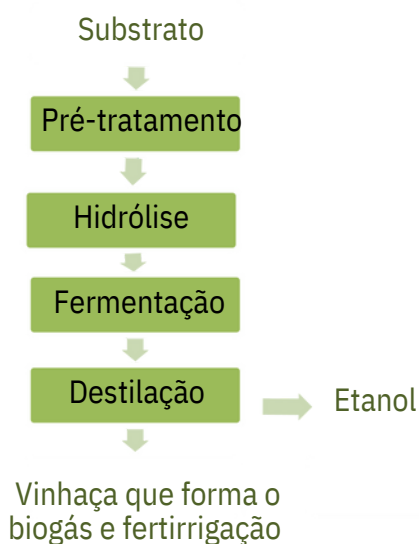
Neste estudo tem-se como foco o aproveitamento energético e químico. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) tem como um de seus objetivos a reutilização dos resíduos, aproveitando ao máximo sua potencialidade. Como a principal destinação é o aterro sanitário, pode existir a produção de biogás em condição de forma não controlada através da digestão aeróbica, portanto, o gás gerado perde em qualidade (ALCÂNTARA, 2007; PIÑAS *et al.*, 2016). Além disso, o uso de resíduos alimentares para a produção de bioetanol é considerado um processo que pode ser viável e possui possibilidades rotas tecnológicas para a bioconversão (GÍRIO *et al.*, 2020).

Os combustíveis gasosos apresentam interesse energético, em destaque quando com concentrações significativas de metano e gás hidrogênio, já que esses gases possuem um alto Poder Calorífico Inferior (PCI). Zhang; Su e Tan (2013) demonstram as características do substrato que o tornam apto a conversão a biogás, sendo possível para um aproveitamento para produção de energia elétrica (DA SILVA JANUÁRIO *et al.*, 2019).

P3.r3o.d1u ção de bioetanol

O reaproveitamento dos resíduos agroindustriais com o nome de etanol de segunda geração, sendo provida de resíduos lignocelulósicos. Tem como utilização como fonte de resíduos alimentares pode ser uma alternativa, como no processo de bioconversão resumida demonstrado na Figura 2 (ZABED *et al.*, 2017).

Figura 2 – Fluxograma da produção de bioetanol.



Fonte: Adaptado de ALAMANOU *et al.* (2015) e HUANG *et al.* (2015).

A produção de bioetanol por meio dos resíduos alimentares é necessário analisar quais os fatores que podem interferir para a produção do bioetanol: a qualidade do substrato, temperatura, pH, carga orgânica e a carga microbiana. (ZABED *et al.*, 2017)

Para a produção de bioetanol, a biomassa deve ser rica em hidratos, principalmente em açúcares livres, principalmente dissacarídeos (como sacarose), pectinas e não podem ser uma biomassa com heterogeneidade significativa (GÍRIO *et al.*, 2020).

O bioetanol de segunda geração passa por diferentes etapas, a saber: pré-tratamento, hidrólise, fermentação e destilação. A etapa de pré-tratamento deve-se ter uma boa separação das moléculas para aumentar a porosidade e acessibilidade das enzimas hidrolíticas que permitem a sacarificação da celulose e da hemicelulose, dessa forma facilitando o processo de fermentação (GÍRIO *et al.*, 2020).

A hidrólise pode ser por via química ou enzimática, sendo a última mais usada e mais viável respeitando as seguintes condições: não ter pH extremo na operação (o ideal é deve estar próximo de 5) e temperaturas muito altas está entre 45°C e 50°C (GÍRIO *et al.*, 2020).

Na fermentação é onde ocorre a conversão dos açúcares liberados na biomassa em bioetanol com auxílio de microrganismos fermentativos, podendo ser leveduras ou bactérias. Nessa fase é importante escolher qual microrganismo deve ser mais o adequado podendo ser a levedura *S. cerevisiae*, a bactéria *Zimommonas móbiles* e os fungos *Agaricus bisporus*,

Bjerkandera adusta e *Ipex lacteus*. Além disso, existem as leveduras modificadas geneticamente que podem aumentar o rendimento do processo de fermentação (GÍRIO *et al.*, 2020). Na última etapa tem-se a destilação do mosto fermentado e resulta o etanol, sendo de forma hidratada com concentração de 96,4%. No entanto, por ser uma mistura azeotrópica e de ser etanol anidro, deve-se passar por um processo de reforma, retirando-se o excesso de água. (ANWAR SAEED *et al.*, 2018).

Na Tabela 4 é demonstrado algumas vantagens e desvantagens para a produção de bioetanol como biocombustível, por meio dos resíduos alimentares.

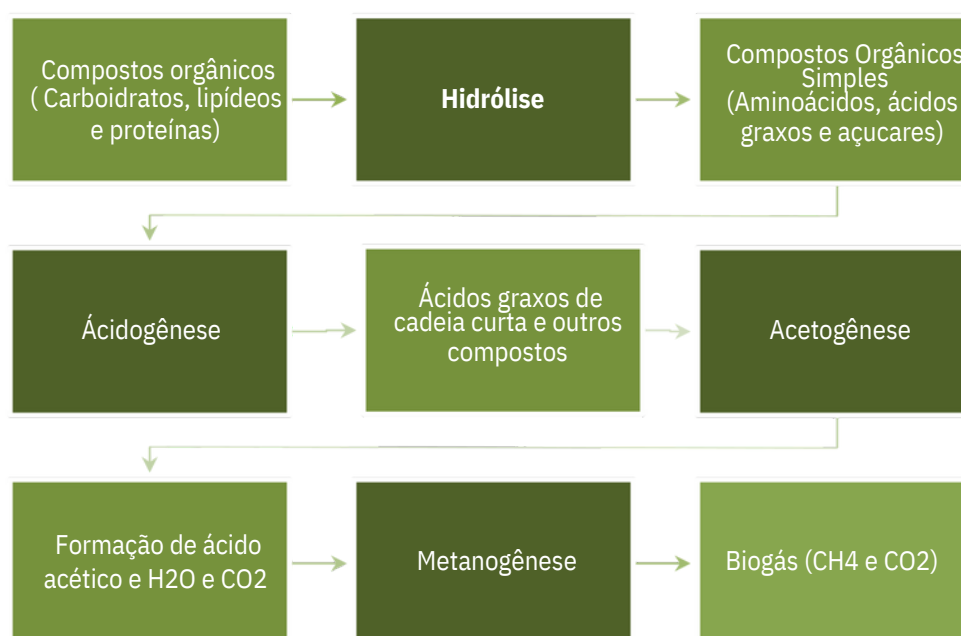
Tabela 4 – Vantagens e desvantagens da produção de bioetanol por meio dos resíduos.

Referência	Vantagem	Desvantagem
GÍRIO <i>et al.</i>, 2020	dTem alto calor latente vaporização e favorece menor gasto energética no motor	Dificulta a ignição do motor
LEE <i>et al.</i>, 2007	O oxigênio numa combustão não requer altas temperaturas e como consequência de gases de efeito estufa	Podem causar problemas no motor devido a incompatível com alguns metais e polímeros, devido a oxidação em ácido acético
GÍRIO <i>et al.</i>, 2020	É necessário ter uma quantidade alta de carboidratos	Não é viável para um resíduo orgânico com alta diversidade de grupos de moléculas
BAI <i>et al.</i>, 2008	No uso da <i>Saccharomyces cerevisiae</i> é eficiente na produção de etanol a partir de hexoses (exemplos: glicose e frutose)	No uso da levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> é ineficiente na produção de etanol a partir de pentoses
Taherzadeh & Krim, 2007	Ao se adaptar os parâmetros específicos ótimos	Ao realizar a hidrólise e posteriormente a fermentação é o rendimento de glucose é baixo devido a inibição por parte da glucose
Taherzadeh & Carini, 2007	Ao fermentar a temperatura ótima para hidrólise é maior que a temperatura ótima da fermentação usando levedura	Ao realizar a hidrólise e posteriormente a fermentação usando levedura

3.3.2 Produção de biogás

Na biodigestão anaeróbica o principal produto é o biogás. Nesse processo bioquímico, um consórcio de diferentes bactérias atua em quatro etapas principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Figura 3). Há uma produção média de 60% de CH₄ e 40% de CO₂ e de outros produtos secundários de baixas concentrações como o H₂S (BRAGUGLIA *et al.*, 2018).

Figura 3 – Fluxograma geral do processo de biodigestão anaeróbica.



Fonte: Adaptado de Mao *et al.* (2015)

Na primeira etapa, as bactérias excretam algumas enzimas que fazem o processo de hidrólise, ou seja, as moléculas maiores (lipídeos, polissacarídeos, proteínas, gorduras, ácidos nucleicos) transformam-se em moléculas menores, sendo chamada de despolimerização (Mao *et al.*, 2015). A hidrólise ocorre pelo processo enzimático, posteriormente, são metabolizados pelas bactérias em duas formas (ácidos graxos de cadeia curta e outros compostos) na etapa de acidogênese. (BRAGUGLIA *et al.*, 2018).

Na etapa de acetogênese, os produtos gerados da etapa anterior (ácidos orgânicos) são transformados em ácido acético pelas bactérias *arqueo* metanogênicas (acetoclásticas e hidrogenotróficas), como consequência, há redução do pH do meio (GUERI; DE SOUZA; KUCZMAN, 2018).

Xu et al. (2018) colaboram para uma revisão das oportunidades e barreiras para a biodigestão anaeróbica de resíduos alimentares. Os autores colocam como formas de melhorar a eficiência a codigestão de substratos, a adição de micronutrientes, processo multi-estágio, entre outros. Apesar dos estudos usarem a suplementação com micronutrientes, o resíduo de alimento pode possuir concentrações de micronutrientes como Zn, Ca, Mg, K.

Para o processo de bioconversão do biogás por meio dos resíduos alimentares ser eficiente é necessário analisar os fatores ambientais que influenciam, como temperatura, pH, nutrientes e teor de umidade (RODRIGUES, 2013).

A temperatura deve ser apropriada para três espécies de bactérias: as mesófilas que operam entre 20 e 45°C, as termófilas para temperaturas acima de 45°C e para temperaturas abaixo de 20°C. No caso da digestão anaeróbica são necessárias as bactérias metanogênicas, no estudo analisou-se de que em regime termófilos tem-se um rendimento 50% superior comparado com o regime mesófilo e rendimentos 200% superior para tempo de retenção baixos (ALVES, 1998).

No aspecto da temperatura é mais vantajoso utilizar as condições termofílicas para que seja evitado o surgimento de microrganismos patogênicos e assim seja obtido um maior rendimento. No entanto, tem-se um custo maior de energia e pode gerar um alto custo para escalas industriais.

Já para o pH deve-se para um reator anaeróbico não pode estar fora da escala entre 6 e 7,6, no entanto para a fase metanogênica o pH não pode passar 6,6 (KLASS, 1984).

Os nutrientes devem suprir as necessidades dos microrganismos, os principais são carbono, nitrogênio, fósforo e o enxofre e segundo Pires (2007) afirma que a biomassa já tem uma quantidade de nutrientes suficientes para o crescimento microbiano em nível industrial.

A composição dos substratos, ou seja, os resíduos alimentares, podem influenciar no processo. Segundo um estudo de Bong *et al.* (2018) os resíduos alimentares em geral possuem uma baixa relação de C/N e baixo pH, em consequência podem acelerar o processo de acidificação do sistema e, caso, tiverem alta quantidade de proteínas podem liberar amoníacos inibidores de ácidos acumulados. Além disso, os resíduos alimentares se degradam rapidamente causando acúmulo de ácidos graxos voláteis.

Segundo Yong *et al* (2015) o parâmetro para produção de biogás é razão entre C/N, na qual nos resíduos alimentares ficam em torno de 11,4 até 18,2. Por outro lado, afirma que a relação C/N entre 10 e 45 é ótimo para bactérias da hidrólise/acidogênese e entre 20 e 30 para bactérias da metanogênese.

Ao analisar as variáveis do processo, existem vantagens e desvantagens na produção de biogás, como demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Vantagens e desvantagens da produção de biogás por meio dos resíduos alimentares.

	Desvantagem Resíduos No entanto, Com as Sem o pré-Resíduos Com aumento de Devido, em alimentares com se a taxa de proporções de 6:1 tratamento com certa resíduos orgânicos geral, o baixo alta taxa de carregamentatê 8.1 tem-se a não possui acidez e faz-se diminuir o pH dos resíduos lignina e o for maior diminuição da bom possuem pH, sendo de comida,	
Vantagem	o rendimento de partículas aumentam tamanho das dan.	
em mais de dois de sólidos mistura para até crus, cozidos C/N por a porcentagem de na co-digestão Cocma ragdai goãroğ âdnei cAau pmeernteon tduoa lC doam a o paruoqmoeerçtãoq Rdees iadiumoes natjaursetsa rr aaz ãAoo daed idcioe jinaarrd ipmo dtausd Aednitçãã op adpbee lâ	variações metano; metano. Além bruscas de pH disso, reduzir o estabilidade para 15% a 20%, palha) tem-se estabilização anaeróbica. metano. o processo e alta aumenta a aumento da e a razão de estabilidade para 15% a 20%, palha) tem-se estabilização anaeróbica. metano.	

Ao observar a Tabela 5, identifica-se como uma das maiores dificuldades a inibição por acúmulos de ácidos (devido à alta concentração de carbono nos restos de comida), que abaixam

o pH e provocam aumento na instabilidade do processo com dificuldades de altas taxas de carregamento. Outro fator é uma razão baixa de C/N pode afetar a produção de metano e provocar falhas no processo da digestão, ou seja, pode ocorrer o acúmulo de amônia em nível de toxicidade para os microrganismos (CAPSON-TOJO *et al*, 2017).

Por outro lado, para aumentar eficiência do processo é utilizado a co-digestão, mantendo a razão de C/N, com outros materiais orgânicos, como papelão, palha e folhas secas são utilizadas juntas com os resíduos alimentares (ROCAMORA, 2020).

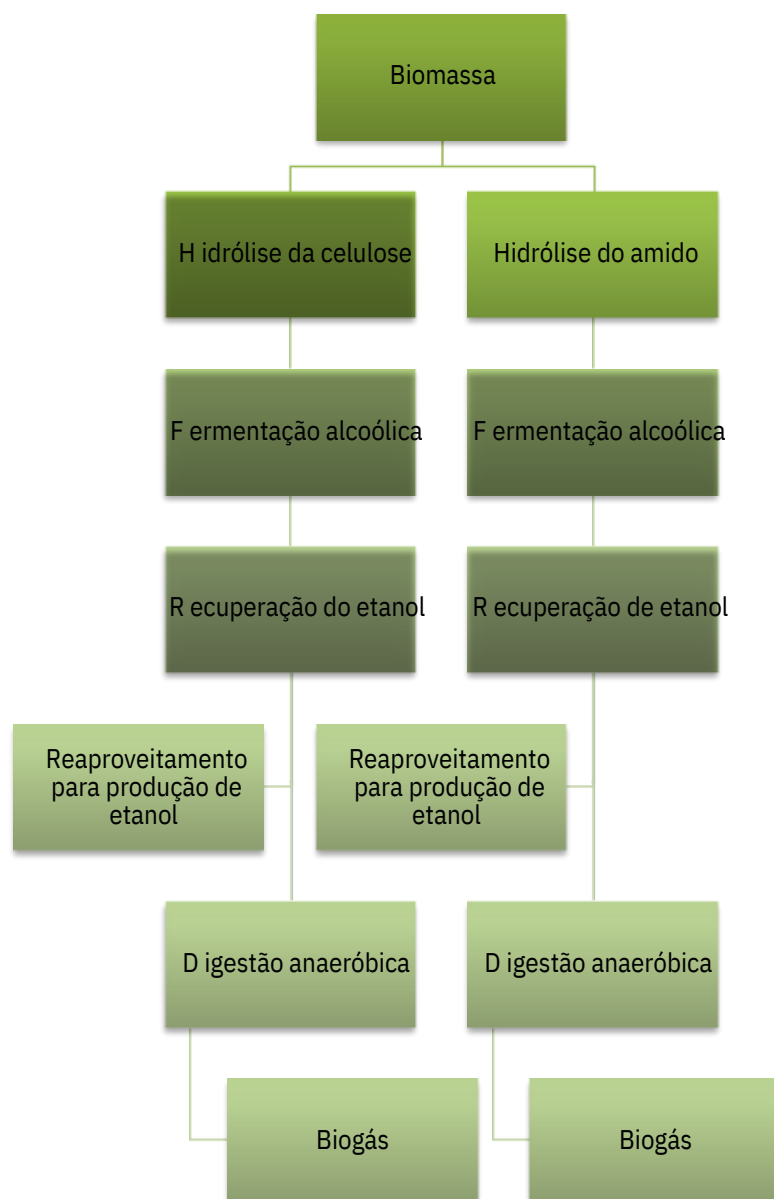
3.3.3 Produção integrada de Bioetanol e Biogás

Apesar de o bioetanol e o biogás possuírem rotas tecnológicas diferentes, é possível realizar a integração desses processos. No resíduo gerado na produção de bioetanol, há material biodegradável que pode ser utilizado como substrato pelos microrganismos na biodigestão anaeróbica: pentoses, lipídeos e ácidos orgânicos. Nesse sentido, unir esses processos pode ser uma alternativa para aumentar a recuperação energética do substrato, tornando uma biorrefinaria mais viável e reduzindo-se a emissão de efluentes. (GÍRIO, 2020)

O processo de produção de etanol celulósico gera resíduos sólidos provenientes da etapa de hidrólise ou fermentação, os quais são dificultosos para tratamento (ZHANG *et al.*, 2014). Assim, estudos propõem o uso desse resíduo para novos processos, a fim de se alcançar uma biorrefinaria *zero waste*. Matsakas *et al.* (2014) usaram resíduo alimentar como substrato para fermentação etanoica. O resíduo desse processo foi utilizado para um novo ciclo de pré-tratamento, hidrólise e fermentação, aumentando o rendimento final em etanol.

Por essa produção de bioetanol e biogás é vantajoso é para reaproveitamento dos resíduos como demonstrado na figura abaixo 4:

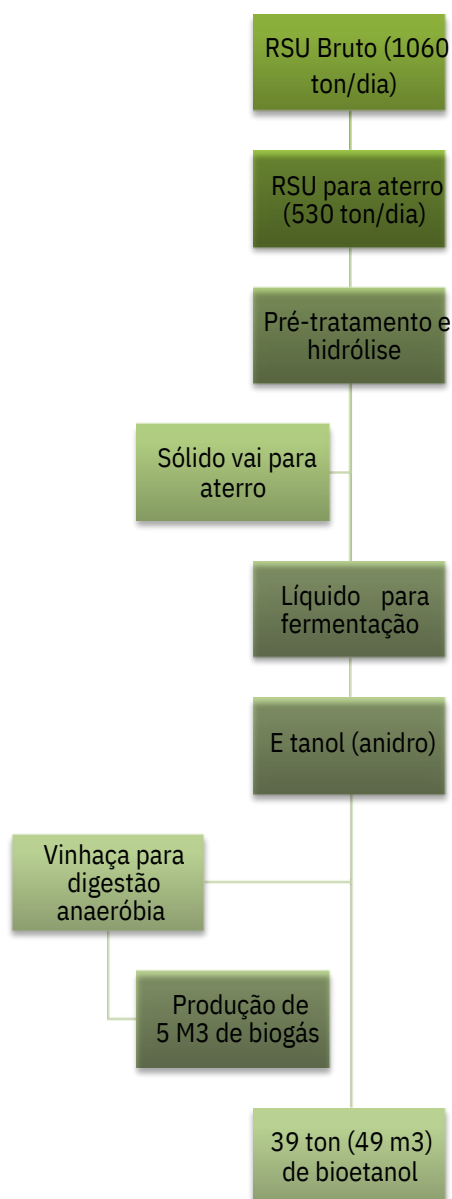
Figura 4 - Fluxograma geral de reaproveitamento integrado.



Fonte: Coelho & Diebold, Lda.

Para uma análise da viabilidade econômica e de infraestrutura, tem-se um estudo de caso (Coelho & Diebold, Lda) comparando a rota a produção de bioetanol e outra rota com a integração do biogás. Considerando a produção de 1060 ton/dia de RSU e atendendo cerca de 50% com a destinação de em deposição do aterro, com a integração permite obter 39 ton/dia e produção de biogás de 5M m³/ano. Além disso, o estudo concluiu que o RSU do aterro reduziria em 60% do peso total como demonstrado na Figura 5.

Figura 5 – Exemplo de rota integrada.



Fonte: Coelho & Diebold, Lda.

P3.r3o.d4u ção de Bióleo

Os bioleos podem ser produzidos a partir da biomassa, e para os resíduos alimentares não seria diferente. Atualmente, as vias para produção mais investigadas são a e a gaseificação dos resíduos alimentares (HEO. *et al.* 2011).

A pirólise consiste na degradação térmica (com temperaturas acima de 400°C) com a presença de um agente oxidante ou ausência, e os parâmetros que mais podem influenciar no processo são: temperatura, a pressão, taxa de aquecimento e composição química do substrato (BLASI, 2008).

Para um maior rendimento da produção de bióleo por meio da pirólise ser mais eficiente ao se fazer um pré-tratamento com as enzimas carboidrase, lipases e protease (KAUSHIK, R. *et al.* 2014).

B3.i3o.h5id rogênio

Para a produção de biohidrogênio por meio dos resíduos alimentares, o principal método é a fermentação (*dark fermentation*), na qual são usados micro-organismos para bioconversão de substratos ricos em carboidratos em hidrogênio e ácidos/alcoolis, como representado na Figura 6 (HALLENBECK; BENEMANN, 2009).

Figura 6 – Resumo do processo da produção de biohidrogenio.



Fonte: HALLENBECK; BENEMANN, 2009

No entanto, existem dificuldades no processo como baixo rendimento do H₂ e formação de produtos secundários (ácidos carbônicos e álcoois), reduzindo a eficiência do processo (pelo fato de ter reações concorrentes entre si). Por outro lado, não há necessidade de fontes luminosas e a configuração do reator é simples (LEVIN; PITT; LOVE, 2004).

3.3.6 Biodiesel

O biodiesel é conhecido como éter metílico ou etílico produzido a partir de óleos vegetais ou animais. Para a obtenção do biodiesel é necessário a separação do óleo dos resíduos com outros métodos (SHARMA *et al.*, 2008).

As técnicas mais utilizadas são a pirólise, a micro-emulsificação e a transesterificação.

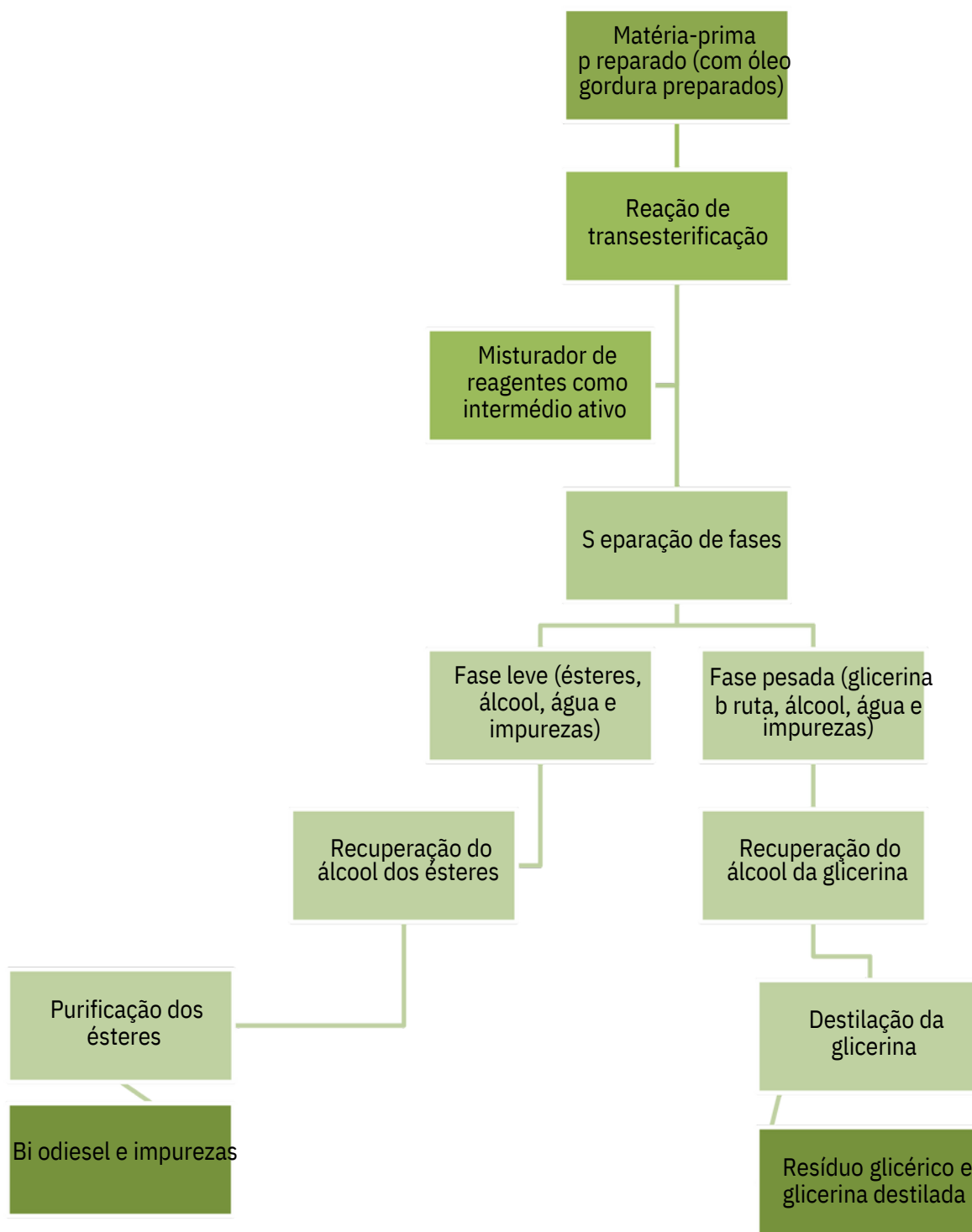
A pirólise é um processo térmico com a presença de algum gás inerte como o nitrogênio, obtendo moléculas menores. As principais desvantagens dessa técnica são os equipamentos dispendiosos, a necessidade de altas temperaturas no processo e os produtos secundários (cetanos, enxofre, água, entre outros), mas a vantagem é possuir um produto mais rico se comparado com outros processos (SHARMA *et al.*, 2008).

No micro emulsificação, por outro lado, são utilizadas solventes como metanol, etanol e 1-butanol, sendo uma dispersão isotrópica e com estabilidade termodinâmica estável, sendo o conjunto desse método: água, óleo, surfactante e o Co surfactante. Com a principal vantagem desse processo é uma baixa quantidade de fuligem e diminuição da viscosidade e desvantagem de necessitar de grandes concentrações de surfactante e Co surfactante (MACEDO, 2003).

Outro fator a considerar é que as propriedades do biodiesel (viscosidade, corrosividade, massa específica...) variam de acordo com a composição do micro emulsão. Da mesma forma, os diversos sistemas de biomassa (óleo de soja, sabão de coco, etc.) todos tem potencial de transformarem e atenderem as propriedades de bioconversão (FERREIRA, 2008).

O método mais utilizado é a transesterificação, de maneira mais sucinta, é transformar óleo ou gordura nos ésteres metílicos ou etílicos de ácidos constituintes do biodiesel. Sendo a proporção de éster, o triglicerídeo, para 3 moles de álcool (na qual é recomendado aumento dos álcoois para o deslocamento da reação para produção de éster) e formação de glicerol e biodiesel. (SHARMA *et al.*, 2008). O mecanismo de produção de éster está demonstrado na Figura 7.

Figura 7 – Processo de produção de biodiesel por transesterificação.



Fonte: Sharma *et al.* 2008.

Para ocorrer a esterificação de maneira eficiente, se deve considerar o tipo de álcool utilizado, metanol ou etanol. Do ponto de vista ambiental, o metanol possui danos ambientais

por ser tóxico, além de ser originário de recursos fósseis, enquanto o etanol é originário de fontes renováveis (DANTAS, 2006).

Além disso, o uso de catalisadores ácidos ou básicos (podendo ser homogêneos ou heterogêneos) devem ser analisados. O estudo de Ferrari *et al.* (2005) concluiu que para escalas industriais é preferível a catálise básica homogênea, pois possui um maior rendimento e seletividade, além de menor problemas de corrosão nos equipamentos do que um catalisador ácido. Quando o substrato possuir altos teores de ácidos graxos livres, principal constituinte do biodiesel, deve-se considerar o uso de catalisador heterogêneo ácido, pois promovem reações de alcoólise de triglicerídeos e de esterificação dos ácidos graxos livres, apresentam-se como substitutos promissores dos catalisadores homogêneos básicos (SCHUCHARDT *et al.*, 2006).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão bibliográfica foi realizada na base de dados Google Acadêmico sendo desenvolvida nos meses de agosto de 2021 a março de 2022, sendo considerados estudos a partir de 2000. As buscas foram feitas de maneira avançada por meio de termos específicos nos seguintes modelos "gravimetria" + "resíduos alimentares" (com retorno de 139 resultados), "composição química" + "resíduos alimentares" (com resultado de 777 resultados) e "destinação" + "resíduos alimentares" (com retorno de 907 resultados). Já os documentos precisavam obedecer aos seguintes critérios:

- O estudo deveria considerar os resíduos de alimentos inseridos nos resíduos sólidos urbanos. Ou seja, não seriam considerados artigos que trabalharam com resíduos agrícolas e/ou industriais;
- A pesquisa tivesse dados de caracterização de um ou mais tipos de carboidratos;
- A unidade selecionada para comparação dos resíduos foi g.kg-1 e posteriormente convertidos em %. Portanto, os artigos que não puderem ser convertidos para esta unidade foram desconsiderados;
- A publicação deveria estar incluída no acervo da plataforma Periódicos Capes ou possuir acesso aberto;
- Em paralelo com a tal revisão, buscou-se documentos que explorem os possíveis reaproveitamentos dos resíduos alimentares.

Com essa filtragem resultarão numa quantidade de estudos (2 para composição gravimétrica e 1 para composição química) realizou-se um balanço de massa (Por meio do Excel) e as quais serão avaliados de acordo com:

- a) Região do Brasil de origem;
- b) Fonte do resíduo;
- c) Substâncias caracterizadas (carboidratos, proteínas e lipídeos).

Posteriormente, do resultado da caracterização é feito análise da melhor rota energética para cada composição química.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 GRAVIMETRIA DOS RESÍDUOS ALIMENTARES

A partir da metodologia aplicada selecionou-se dois artigos dentro dos critérios estabelecidos. A classificação dos resíduos alimentares está distribuída da seguinte maneira: hortaliças, grãos, carnes e laticínios, e outros. Sendo identificados pelo local que é gerado o resíduo, região do Brasil e percentuais, como mostrado no levantamento de dados das Tabela 6.

Tabela 6 – Levantamento da gravimetria dos resíduos alimentares.

Fonte	Tipo de resíduo alimentar	Percentual	Origem do local	Cidade/Estado
Paixão <i>et al</i> , 2018.	Hortaliças, legumes e frutas	99,08%	Restaurante	Recife/PE
	Grãos	0%		
	Carnes e laticínios	0,22%		
	Outros tipos de resíduos	0%		
Teixeira <i>et al</i> , 2019.	Hortaliças, legumes e frutas	70,01%	Mercado regional	Curitiba/PR
	Grãos	0%		
	Carnes e laticínios	0%		
	Outros tipos de resíduos	23,93%		

Fonte: Teixeira *et al*, 2019.

Como observado no artigo do Paixão *et al*. (2016), se a origem do resíduo alimentar for de um restaurante há uma probabilidade aumento no percentual da fração de legumes, hortaliças e frutas, já que suas atividades são diariamente voltadas para isso e os alimentos possuem muitas partes que não são reaproveitadas (talos, cascas, sementes...). Além disso, há um pequeno percentual de carnes e laticínios (0,22%), mesmo que irrisório, advindos de ossos, restos de gordura animal e moelas.

Essa configuração que existe nos restaurantes muda um pouco quando o resíduo alimentar vem de um mercado, pois, há uma diversidade maior na composição gravimétrica com a diminuição do percentual de legumes, hortaliças e frutas, e um aumento nos outros (incluem os recicláveis e não

recicláveis), pois os mercados possuem diversidade nos tipos de resíduos corriqueiros nesses espaços (TEIXEIRA *et al*, 2019). de alimentos, como em supermercados, mercados, restaurantes, lanchonetes e (Centrais de Abastecimento) CEASA aponta que lixo orgânico varia de 15% a 50%, e que as Centrais de Abastecimentos são responsáveis por 30% pelo descarte dos alimentos e o consumidor por 10% desse desperdício (DIAS, 2003). Todos os dias, a maioria

das perdas está relacionada a vegetais e frutas (AIOLFI; BASSO, 2013) e o ônus do custo final do produto é um fator determinante, afetando diretamente os consumidores (FAO, 2008). No Brasil, a composição gravimétrica dos alimentos pode variar com as condições socioculturais do local. Segundo a Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2008/2009, construída pelo IBGE (2009), 90% da população consome menos de 400 g de frutas e hortaliças por dia. Se comparados com o cenário internacional, ao analisar o exemplo da Índia, o consumo médio de frutas e hortaliças está entre 120-140 g/dia por indivíduo e na China o valor é de 369 g/dia, onde a ascensão econômica é de maneira mais proeminente e a população rural predominante (IBGE, 2009). Uma outra evidência é de que os brasileiros não têm uma predominância de resíduos alimentares de frutas e hortaliças na sua alimentação, isso é demonstrado numa pesquisa da Empraba (2021) que arroz (22%), carne bovina (20%), feijão (16%) e frango (15%) são os tipos de alimentos mais desperdiçados pelos brasileiros. Esses percentuais podem diferenciar ainda mais pelas regiões brasileiras devidos os hábitos alimentares, disponibilidade, custo e renda (PIB). Na Tabela 7, estão discriminados os principais tipos de alimentos que influenciam na composição gravimétrica de resíduos alimentares em cada região do país.

Tabela 7 – Hábitos alimentares por regiões brasileiras.

Região brasileira	Ingredientes
Norte	Mandioca-brava, o peixe pirarucu e açaí
Nordeste	Peixes, camarões, azeite de dendê, tapioca, castanha do pará, pimenta, feijões (principalmente o verde)
Centro-oeste	Pequi, peixe pintado e banana-terra
Sudeste	Milho, queijo minas, porco, massas e pizzas
Sul	Erva-mate, churrasco e uva

Fonte: Chaves, 2014.

Ao observar a Tabela 7 dos hábitos alimentares das regiões brasileiras, pode-se verificar que na região norte e nordeste têm a predominância de resíduos alimentares de mandioca e peixes, tais alimentos são ricos em carboidratos e proteína. Já para o cenário do sudeste e sul possuem hábitos alimentares mais voltadas para alimentos de origem vegetal sendo mais pertinente os lipídeos e proteínas na sua composição (CHAVES, 2014)

Na região Norte e Nordeste há uma predominância de vegetais, no que difere da região Sudeste e Sul há domínio de uma alimentação mais baseada em origem animal e de grãos. Além disso, o mesmo estudo demonstra que a carne está presente em torno de 30% na alimentação dos brasileiros, dando mais destaque para a região centro-oeste pelo fator da pecuária ser predominante na região (CHAVES, 2014).

Jaime *et al.* (2007) realizaram um estudo das possíveis evidências que levaram ao baixo consumo de frutas e vegetais e alto desperdício alimentar no Brasil, e apontou que estes se deviam a, principalmente de sistemas ineficientes de produção, distribuição e comercialização, aumento dos preços dos alimentos e falta de consciência e promoção desses alimentos podem contribuir para esse cenário.

Atrelado a esses dados, a baixa durabilidade e de vida útil de frutas/legumes é agravado ainda mais com que os brasileiros não sejam propensos a comprar esses alimentos, o que demonstra Gross *et al.* (2016) analisou que as frutas (como laranja e mamão) e como hortaliças (como alfaces e abóboras), alimentos que muito comuns no Brasil, tem baixos tempos de vida útil. O estudo concluiu que a laranja possui uma durabilidade de 12 dias em condições ambientes, o mamão pode durar poucos dias, a alface deve permanecer num ambiente com umidade maior que 80% e embalado, e a abóbora pode ser mantida até em 3 meses, como visualizado na Tabela 8 os percentuais de perdas.

Tabela 8 – Percentual de perdas/desperdícios de frutas, legumes e hortaliças.

Frutas, legumes e hortaliças		Percentual de perda
Couve-flor		50%
Alface		45%
Tomate		40%
Pimentão		40%
Banana		40%
Morango		40%
Repolho		35%
Alho		30%
Melancia		30%
Abacate		26%
Batata		25%
Manga		25%
Laranja		22%
Cebola		21%
Mamão		21%
Cenoura		20%
Abacaxi		20%
Chuchu		15%

Fonte: Dias, 2003; Empraba, 2014.

Outro fator é a relação ao tamanho da população e geração de resíduos alimentares.

Segundo um estudo de Athayde Júnior *et al.* (2007) a geração de resíduos alimentares varia de acordo com o tamanho populacional da cidade, estimando-se que a geração de resíduos para cidades pequenas gira em torno 0,5 kg/hab./dia e, para grandes cidades, de 0,85 kg/hab./dia, ou seja, mostrando uma correlação proporcional ao tamanho da população.

5.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS RESÍDUOS ALIMENTARES

Pela complexidade dos resíduos alimentares, para facilitar o entendimento da composição dos alimentos dividiu-se em três grandes grupos: carboidratos, lipídeos e proteínas.

No levantamento de dados, encontrou-se um estudo num restaurante do Rio de Janeiro de Ribeiro *et al.* (2013), verificando-se que os carboidratos representam 12,94%, lipídeos são 6,26% e proteínas são 6,37%. No entanto, essa configuração pode mudar por diversos fatores

socioeconômicos e culturais. A composição química desses alimentos (já assados ou cozidos) é demonstrada na Tabela 9.

Tabela 9 – Composição química dos principais constituintes dos resíduos alimentares.

Tipo de resíduo alimentar			
(Porcentagem na composição gravimétrica)	Carboidrato (%)	Lípideos (%)	Proteínas (%)
Arroz (22%)	79%	0,6%	7,20%
Carne Bovina (20%)	57,02%	7,49%	33,67%
Feijão (16%)	62,36%	1,42%	21,6%
Frango (15%)	0,00%	2,00%	17,00%
Desvio padrão	25%	2,31%	10%

Fonte: Naves (2007), Pinheiro (2008)

Ao observar a Tabela 9, é considerado a média dos percentuais dos dois artigos, há uma predominância dos carboidratos nos resíduos alimentares e de lipídeos, com a exceção dos resíduos de carne de frango que há domínio das proteínas. Para os resíduos de frutas, legumes e hortaliças a configuração irá diferenciar de acordo com a tipologia. conforme apresentado na Tabela 10 os principais vegetais perdidos e sua composição química.

Tabela 10 – Composição química dos principais frutos, legumes e hortaliças desperdiçados.

Frutas, legumes e hortaliças (percentual de perda)	Carboidrato (%)	Lipídeos (%)	Proteínas (%)
Flor	0,26%	0,05%	2,50%
Folha	0,65%	0,03%	0,62%
Talo	1,92%	0,01%	1,43%
Alface (45%)	2,00%	0,10%	1%
Tomate (40%)	2,13%	2%	8%
Pimentão verde (40%)	2,19%	0%	0,86%
Polpa	2,70%	10,50%	4,20%
Casca	3,40%	2%	1%
Morango (40%)	4,20%	0,14%	1,12%
Repolho	4,90%	1,20%	0,80%
Alho	7,50%	0%	0,70%
Polpa	7,83%	0,25%	2,03%
Casca	7,83%	64,09%	1,27%
Polpa	8,90%	2,18%	0,17%
Casca	9,00%	0,08%	2,40%
Casca	10,45%	0%	1,80%
Casca	10,97%	0,16%	1,16%
Polpa	10,97%	0,04%	0,07%
Polpa	14,15%	0,10%	1%
Casca	14,36%	0,45%	1,81%
Polpa	14,36%	0,20%	1,80%
Casca	14,70%	0,01%	0,46%
Cebola (21%)	17,74%	0,28%	0,08%
Polpa	17,78%	0,40%	1,90%
Casca	17,90%	0,22%	0,49%
Cenoura (20%)	19,71%	0,26%	0,06%
Polpa	30,00%	0,00%	0,78%
Casca	48,00%	0,00%	1,50%
Polpa	60,00%		
Casca	89,00%		

Fontes: MONTEIRO (2009); STORCK (2013).

Ao observar a Tabela 10, observa-se que os vegetais mais desperdiçados têm sua composição química predominante de carboidratos, sendo o percentual de lipídeos e proteínas baixo com exceção do abacate que predomina os lipídeos.

Já para a diferença entre casca e polpa é de aumento de carboidratos, com exceção da batata, abacaxi e da banana por sua decomposição mais acelerada fazendo uma perda da composição de maneira mais acentuada.

5.3 REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS ALIMENTARES

Das composições gravimétricas encontradas na literatura (Paixão *et al.*, 2018 e Teixeira *et al.*, 2019), buscou-se encontrar as composições químicas (carboidratos, lipídeos e proteínas) desses grupos gravimétricos a partir de uma massa total de 1000 Kg resíduos alimentares e com percentual da massa seca de 20%, na qual o valor é encontrado na literatura (DOU e TOTH, 2021). Outro fator determinado é o percentual dos componentes químicos do grupo gravimétrico “Hortaliças, legumes e frutas”. Por ser desconhecido o percentual de cada vegetal dentro desse grupo gravimétrico, fez-se a mediana de cada componente químico da Tabela 10, resultando na mediana de 10,45% para carboidratos, 0,16% para os lipídeos e 1,12% para proteínas. Já para o grupo “Carnes e laticínios” consideraram-se o percentual da composição química da Tabela 9.

Dessas premissas e condições, resultou-se na Tabela 11, considerando 200 Kg de massa seca dos 1000 Kg.

Tabela 11 – % das composições químicas dos artigos sobre a massa seca.

Fonte	Carboidrato (%)	Lipídeos (%)	Proteínas (%)
Paixão <i>et al.</i> , 2018	10,35%	0,18%	1,18%
Teixeira <i>et al.</i> , 2019	7,32%	0,11%	0,78%
Média	8,83%	0,14%	0,98%

Fonte: Autor, 2022.

Desses dados, nas próximas sessões é analisado quais rotas energéticas mais viáveis de acordo com essa composição química estabelecida.

5.3.1 Carboidratos

Resíduos ricos em carbonos ou fração considerável de carboidrato do resíduo, como observado na Tabela 7, é mais propensa para produção de bioetanol. Tal afirmação deve-se por vários fatores, a primeira delas é de que tais produtos possuem uma tecnologia já bem desenvolvida com insumos (cana-de-açúcar e milho) ricos em carboidratos, esse contexto facilita o processo de obtenção de bioetanol (KIM & DALE, 2004).

Uma separação dos componentes corretamente pode contribuir para uma maior eficiência no processo de obtenção do bioetanol, exemplos de alimentos ricos em carboidratos, de acordo com as Tabelas 9 e 10, são: as cascas de manga e laranja, tomate, grãos como feijão e arroz, trigo e açúcares em geral.

Outro processo de facilitado com alimentos ricos em carboidratos seria na produção de bihidrogênio, porém tem os entraves de um custo alto e formação de produtos secundários, diminuindo o rendimento (LEVIN; PITT; LOVE, 2004)

5Li.p3í.d2e os

Percentuais de lipídeos podem ser bem aproveitados para a produção de biodiesel, já que possuem rotas tecnológicas bem desenvolvidas com utilização de insumos como óleo vegetais de palma, girassol, soja, colza etc. No entanto, a utilização desses óleos é custosa e sendo necessário terra, água e fertilizantes para a produção (KHAN *et al.*, 2014).

Dessa forma, o uso de óleo de cozinha e resíduos alimentares com alto teor de lipídeos (como casca de banana e abacate, vide Tabela 10) podem reduzir os custos se comparado com as rotas mais comumente usadas com óleos vegetais e não é competitivo com os alimentos comestíveis (KARME, 2016).

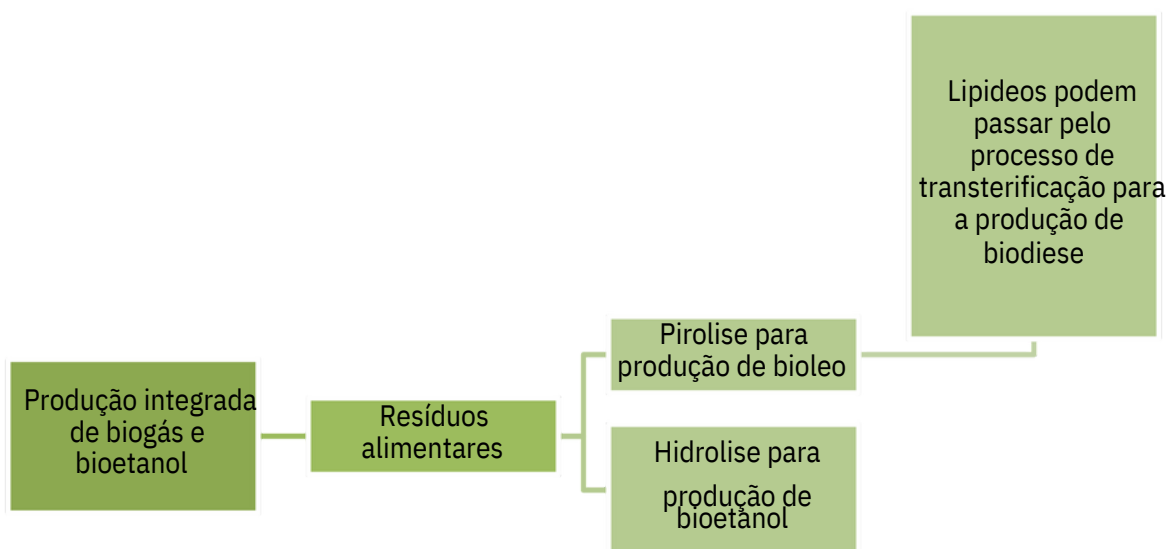
P5.r3o.t3e ínas

Não há muitos estudos sobre os reaproveitamentos energéticos das proteínas. No entanto, existe a possibilidade de rotas integradas de criação de insetos nas biomassas em transformar numa biomassa de alta quantidade proteína. Dessa tecnologia de bioconversão ainda em fases bem preliminares, pode-se utilizar para ração animal ou fertilizantes (OJHA,2020).

5.3.4 Integração de reaproveitamentos energéticos

Diante da complexidade química dos resíduos alimentares, é possível juntar várias rotas energéticas na mesma composição gravimétrica. Karne (2016) organiza as junções das rotas, dessa forma e demonstrado na figura 8:

Figura 8 – Rotas de reaproveitamento energético integrado.



Fonte: Karme (2016)

- O resíduo alimentar ter o destino de passar pela pirólise e se transformar em bioleo, ou pode-se passar por uma extração usando solventes orgânicos e pirolisar transformando-se em bioleo;
- Passar pela hidrolise e se transformar em bioetanol, e podem servir de nutrientes para o cultivo de microalgas, usando para extração dos solventes orgânicos do tópico anterior;
- O mesmo lipídeo extraído, pode-se transformar pelo processo de transesterificação e produzir biodiesel;
- O processo de transesterificação produz o glicerol, que passando por pirolise pode-se transformar em bioleo;
- Outra rota em anexo pode ser a produção do biogás integrado com bioetanol;

Todas essas possibilidades devem considerar a composição gravimétrica da biomassa nos municípios e hábitos alimentares regionais. Como observado na Tabela 7 e juntando com as informações da composição química da Tabela 9, o Sudeste e Norte tem uma composição rica em carboidratos sendo mais vantajosos, em escalas maiores, investimentos na produção de biogás, bioetanol ou biogás + bioetanol (integrado). Na qual difere das regiões Sul e Centro-

oeste, possuem uma alimentação mais rica em proteínas e lipídeos sendo mais viável a produção de bioleo ou biodiesel.

6. CONCLUSÃO

São vários fatores para o desperdício de alimentos no Brasil. Dentro do estudo gravimétrico observou-se que o grupo dos vegetais ocupam um maior percentual de desperdício, principalmente pelo fato de os brasileiros não possuírem hábitos de evitar desperdício e de haver perdas acentuadas durante o processo de transporte.

A composição química predominante é do grupo dos carboidratos e lipídeos. Foi possível analisar caminhos de reaproveitamento energético mais viáveis. No que tange aos carboidratos, a rota mais vantajosa é a produção de biogás e biodiesel, já para os lipídeos o ideal é pelo caminho da geração de bioleo e biodiesel.

Tais caminhos podem ser integrados e devem analisar a sua viabilidade de acordo com as tecnologias, taxas de conversão e composição do substrato. A exemplo disso é a produção de biohidrogênio ser altamente custosa e substratos com altas taxas de proteínas não possuem rotas de reaproveitamento energético vantajosas.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama Dos No Brasil Sólidos Resíduos 2020/2021**, 2021.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama Dos No Brasil Sólidos Resíduos 2018/2019**, 2019.
- AIOLFI, A. H.; BASSO, C. **Preparações elaboradas com aproveitamento integral dos alimentos. Disciplinarum Scientia**. Série: Ciências da Saúde, Santa Maria, v. 14, n. 1, pág. 109-114, 2013.
- ALAMANOU, D. G.; MALAMIS, D.; MAMMA, D.; KEKO, D. **Bioethanol from Dried Household Food Waste Applying Non-isothermal Simultaneous Saccharification and Fermentation at High Substrate Concentration**. Waste and Biomass Valorization, v. 6, n. 3, p.353–361, 2015
- ALCÂNTARA, P. B. **Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- ALVES, M. M. S.; **Estudo e Caracterização de Digestores Anaeróbios de Leito Fixo**, Dissertação para Doutorado em Engenharia Biológica e Química, Universidade do Minho, 1998.
- ANWAR SAEED, M.; MA, H.; YUE, S.; WANG, Q.; TU, M. **Concise review on ethanol production from food waste: development and sustainability**. Environmental Science and Pollution Research, v. 25, n. 29, p. 28851–28863, 2018.
- ARELLI, V.; BEGUM, S.; ANUPOJU, G. R.; KURUTI, K.; S., S.. **Dry anaerobic co-digestion of food waste and cattle manure: Impact of total solids, substrate ratio and thermal pre treatment on methane yield and quality of biomanure**. Hyderabad: Elsevier Ltd, 2018.

ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; BESERRA, L. B. S.; FAGUNDES, G. S. Sobre a geração de resíduos sólidos domiciliares em bairros de classe média e alta de João Pessoa. **REA – Revista de estudos ambientais**.v.9, n.2, p. 73-88, jul./dez. 2007.

BEGUM, S.; DAS, T.; ANUPOJU, G. R.; ESHTIAGHI, N.. **Solid-state anaerobic co-digestion of food waste and cardboard in a pilotscale auto-fed continuous stirred tank reactor system**. Melbourne: Elsevier Ltd, 2021.

BLASI, C. DI. **Modeling chemical and physical processes of wood and biomass pyrolysis**. **Progress in Energy and Combustion Science**, v.34, p.47–90, 2008.

BRASIL. Lei 12305 de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial da União. Brasília, 2010.

BRAGUGLIA, C. M.; GALLIPOLI, A.; GIANICO, A.; PAGLIACCIA, P. **Anaerobic bioconversion of food waste into energy: A critical review**. **Bioresource Technology**, v. 248, p. 37–56, 2018.

BONG, Cassandra Phun Chien; LIM, Li Yee; LEE, Chew Tin; KLEMES, Jiri Jaromir; HO, Chin Siong; HO, Wai Shin. **The characterisation and treatment of food waste for improvement of biogas production during anaerobic digestion e A review**. Johor Bahru: Elsevier Ltd, 2018.

CAPSON-TOJO, G.; ROUEZ, M.; CREST, M.; TRABLY, E.; STEYER, J.; BERNET, N.; DELGENÈS, J.; ESCUDIÉ, R.; **Kinetic study of dry anaerobic co-digestion of food waste and cardboard for methane production**. Narbonne: Elsevier Ltd, 2017.

CHAVES, G.; ANHESINI, C., **Ingredientes do Brasil**. São Paulo: Academia Brasileira de Arte, Cultura e História, 2014.

CHEN, Y.; ZHANG, X.; CHEN, Y.; **Propionic acid-rich fermentation (PARF) production from organic wastes: A review**. Shanghai: Elsevier Ltd, 2021.

DANTAS, H.;" **Estudo Termooanalítico, Cinético e Reológico de Biodiesel Derivado do Óleo de Algodão (*Gossypium hisutum*)**", Dissertação de Mestrado, 2006.

DA SILVA JANUÁRIO, T. L.; MARINHO, J. L.; DE OLIVEIRA, J. F. A.; Potencial de geração de energia elétrica a partir do aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 30092-30103, 2019.

DIAS, M. C. **Comida jogada fora**. Correio Braziliense. 2003. Disponível em: Acesso em: 25 de novembro. 2021.

DOU, Z.; TOTH, J. D. Global primary data on consumer food waste: Rate and characteristics– A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 168, p. 105332, 2021.

ENVIROMENT BAREAU. A food waste & yard waste plan for hong kong. 2014-2022

EMBRAPA, Brasil. **Arroz e feijão estão entre os alimentos mais desperdiçados no Brasil** Disponível em: Acesso em: 28 de novembro 2021.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, United States. **Food Recovery Hierarchy**. Disponível em: Acesso em: 10 novembro 2021.

FERRARI, R., OLIVEIRA, V., SCABIO, A., "Biodisel de Soja – Taxa de Conversão em Êsteres Etilicos, Caracterização Físicoquímica e consumo em gerador de Energia", **Química Nova**, Volume 28, Número 1, pág. 19 – 23, 2005.

GABRIELA, M.; **Bioquímica dos alimentos: Teoria e Aplicações Práticas**. 1 edição. Brasil: GEN, 2017.

GOMES, L. P.; KOHL, C. A.; SOUZA, C. L. L.; REMPEL, N.; MIRANDA, L. A. S.; MORAES, C. A. M. **Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, n. 3, p. 449–462, set. 2015.

GÍRIO, Francisco *et al.* **Tecnologias de conversão de resíduos orgânicos** (Âmbito do GT Energia-Resíduos): contribuição do LNEG. 2020.

GUERI, M. V. D.; DE SOUZA, S. N. M.; KUCZMAN, O. **Parâmetros Operacionais do Processo de Digestão Anaeróbia de Resíduos Alimentares: Uma Revisão.** *Biofix Scientific Journal*, v. 3, n. 1 p. 17–25, 2018.

HAN, S.; SHIN, H.; Performance of an innovative two-stage process converting food waste to hydrogen and methane. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 54, n. 2, p. 242-249, 2004.

HALLENBECK, P. C.; GHOSH, D.. Advances in fermentative biohydrogen production: the way forward? **Trends in Biotechnology**, v. 27, n. 5, p. 287-297, 2009.

HEO, H. S. et al. Catalytic upgrading of oil fractions separated from food waste leachate. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 4, p. 3952–3957, fev. 2011.

HUANG, H.; QURESHI, N.; CHEN, M.; LIU, W.; SINGH, V. **Ethanol production from food waste at high solids content with vacuum recovery technology.** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 63, n. 10, p. 2760–2766, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. POF – Pesquisa de orçamentos familiares 2008/2009. **Análise do consumo alimentar pessoal no Brasil.** 2009.

INSTITUTO ADOLFO LUIZ -**Normas Analíticas, Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos.** São Paulo; edição IV, IAL, 2005.

JAIME, P. C *et al.* **Educação nutricional e consumo de frutas e hortaliças: ensaio comunitário controlado.** *Saúde Pública*, São Paulo, v. 41, n. 1, p. 154-157, 2007.

KAUSHIK, R. et al. Enzyme-assisted hydrothermal treatment of food waste for co-production of hydrochar and bio-oil. **Bioresource Technology**, v. 168, p. 267–274, set. 2014.

KARMEE, S. K. Liquid biofuels from food waste: Current trends, prospect and limitation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 945–953, 2016.

KIM, J. H.; LEE, J. C.; PAK, D. **Feasibility of producing ethanol from food waste**. Waste Management, v. 31, n. 9–10, p. 2121–2125, 2011.

KIM, S.; DALE, B. E. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. **Biomass & bioenergy**, v. 26, n. 4, p. 361–375, 2004.

KHAN, T. M. Y. et al. Recent scenario and technologies to utilize non-edible oils for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p. 840–851, 2014.

KLASS, D.L.; **Methane from anaerobic fermentation**. Science, 1984. 223 (4640): p. 1021-1028.

KUMAR A, SAMADDER SR. **A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste**. Waste Manag 2017;69: 407e22

NAVES, M. M. V. **Características químicas e nutricionais do arroz**. Curitiba: B. CEPPA, v. 25, n. 1, p. 51-60, jan./jun. 2007.

NELSON, L. D., COX, M. M.; **Princípios da bioquímica de Lehninger**. 6 edição. Brasil: Artmed, 2014.

MACEDO, G., MACEDO, J., 2003; “Produção de Biodiesel por Transesterificação de Óleos Vegetais”; **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**.

MATSAKAS, L.; KEKOS, D.; LOIZIDOU, M.; CHRISTAKOPOULOS, P. **Utilization of household food waste for the production of ethanol at high dry material content**. Biotechnology for Biofuels, v. 7, n. 1, p. 1–9, 2014.

MALDONADE *et al.* **Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS**. Embrapa Agroindústria de Alimentos, Brasília, 2013b. Disponível em: < http://www.cnph.embrapa.br/paginas/serie_documentos/publicacoes2013/cot_85.pdf >.

MAO, C.; FENG, Y.; WANG, X.; REN, G. **Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 540–555, 2015.

MONTEIRO, B. de A. **Valor nutricional de partes convencionais e não convencionais de frutas e hortaliças. Dissertação (mestrado)** – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Botucatu, 68 f., 2009.

LEE, S.; SPEIGHT, J. G.; & LOYALKA, S.K. (2007). **Handbook of Alternative Fuel Technologies. Florida, U.S.A: CRC Press - Taylor & Francis Group**, 523 pp.

LEVIN, D.B.; PITT, L.; LOVE, M.. Biohydrogen production: prospects and limitations to practical application. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 29, p. 173- 185, 2004

LI, Liang *et al.* Hydrothermal carbonization of food waste and associated packaging materials for energy source generation. **Waste management**, v. 33, n. 11, p. 2478-2492, 2013.

PAIXÃO, Simone Karine Silva da et al. **Produção de biogás a partir de resíduos de alimentos: uma proposta para um restaurante em Recife**, PE. 2018.

PATINVOH, R. J.; LUNDIN, M.; TAHERZADEH, M. J.; HORVÁTH, Ilona Sárvári. **Dry Anaerobic Co-Digestion of Citrus Wastes with Keratin and Lignocellulosic Wastes: Batch and Continuous Processes**. Boras: Springer, 2018.

PERIN, J. K. H.; BORTH, P. L. B.; TORRECILHAS, A. R.; CUNHA, L. S.; KURODA, E. K.; FERNANDES, F.. **Optimization of methane production parameters during anaerobic co-digestion of food waste and garden waste**. Londrina: Elsevier Ltd, 2020.

PIÑAS, Jean Agustin Velásquez *et al.* Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 33, p. 175-188, 2016.

PINHEIRO, R. S. B., *et al.* **“Composição Química e Rendimento Da Carne Ovina in Natura e Assada”**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, vol. 28, dezembro de 2008, p. 154–57.

PIRES, O.C.P.; **Sistemas Inteligentes para Monitorização e Controlo de processos Integrados de tratamento Biológico de Efluentes**, Doutoramento em Engenharia Química e Biológica, Universidade do Minho, 2007.

OJHA, Shikha; BUßLER, Sara; SCHLÜTER, Oliver K. **Food waste valorisation and circular economy concepts in insect production and processing**. Waste Management, v. 118, p. 600-609, 2020.

RIBEIRO, Dilson Fagundes et al. **Produção de álcool a partir de rejeitos de alimentos do Restaurante Universitário da UFRRJ**. 2013.

ROCAMORA, Ildefonso et al. Dry anaerobic digestion of organic waste: A review of operational parameters and their impact on process performance. **Bioresource technology**, v. 299, p. 122681, 2020.

RODRIGUES, I. G. **Estudo da Produção de Biogás a Partir de Resíduos Alimentares**. Tese (Mestrado em Sistemas de Energias Renováveis) – Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 2013.

SOUZA, Daise Santos. Qualidade de caldos em tablets através da determinação de lipídios totais e testes de oxidação. **Anais dos Seminários de Iniciação Científica**, n. 22, 2018.

SILVA, Rodrigo Cândido Passos da *et al.* **Setorização de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares por técnicas multivariadas: estudo de caso da cidade do Recife, Brasil**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 25, p. 821-832, 2020.

SHARMA, Y.C. SINGH, B., UPADHYAY, S.N., **“Advancements in development and characterization of biodiesel: a review”**, 2008, Fuel, Volume 87, Edição 12, Setembro 2008, pág. 2355-2373.

SUN, Y.; CHENG, J. **Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review**. *Bioresource Technology*, v. 83, n.1, 2002.

STORCK, C. R., et al. **“Folhas, talos, cascas e sementes de vegetais: composição nutricional, aproveitamento na alimentação e análise sensorial de preparações”**. *Ciência Rural*, vol. 43, no 3, março de 2013, p. 537–43.

TAHERZADEH M.; KARIMI K.; (2009). **Enzyme-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review**. *BioResources* 2 (4), pp. 707-738.

TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of Solid Waste Management**. McGRAM HILL, 2nd. ed, 2002.

TEIXEIRA, SOPHIA RIBAS; CUBAS, SELMA APARECIDA. **iii-441–avaliação e quantificação do desperdício de alimentos no gerenciamento dos resíduos de frutas, legumes e verduras (flv) gerado no mercado regional do cajuru–curitiba, PR**. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2019.

XU, F.; LI, Y.; GE, X.; YANG, L.; LI, Y. **Anaerobic digestion of food waste – Challenges and opportunities**. *Bioresource Technology*, v. 247, n. September 2017, p. 1047–1058, 2018.

YONG, Z.; DONG, Y.; ZHANG, X.; TAN, T.. **Anaerobic codigestion of food waste and straw for biogas production**. Beijing: Elsevier Ltd, 2015.

ZABED, H.; SAHU, J. N.; SUELY, A.; BOYCE, A. N.; FARUQ, G. **Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 71, n. October 2015, p. 475–501, 2017.

ZHANG, C.; SU, H.; TAN, T. **Batch and semi-continuous anaerobic digestion of food waste in a dual solid–liquid system**. *Bioresource Technology*, v. 145, p. 10–16, 2013.

ZHANG, Q.; ZHANG, L.; KONG, L.; YUAN, G.; ZHU, X.; LIU, H.; WANG, Y.; ZHOU, F. **Establishment and assessment of a novel bioethanol and efficient biogas coupling**

fermentation system integrated with the pretreatment of a cellulolytic microbial consortium. Journal of Cleaner Production, v. 83, p. 142–150, 2014b.