



# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO C:N E DA UMIDADE DO SUBSTRATO NO PROCESSO DE BIOMETANIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

\* Graziela Pinto de Freitas <sup>1</sup>  
Gilson Barbosa Athayde Júnior <sup>1</sup>  
Mariana Moreira de Oliveira <sup>1</sup>

## INFLUENCE OF C:N RATIO AND HUMIDITY OF THE SUBSTRATE ON THE BIOMETHANIZATION PROCESS OF ORGANIC SOLID WASTE

Recibido el 27 de enero de 2021. Aceptado el 21 de junio de 2021

### Abstract

*The anaerobic digestion of organic waste is considered a viable technique from an environmental and economic point of view to treat and reuse the by-products from this process. For the optimization of this process, it is necessary that some variables are taken into account. The objective of this article was to carry out a bibliographic survey regarding the influence of the C: N ratio and substrate moisture in the treatment of organic solid waste through the process of anaerobic digestion. A survey of data was carried out in the following databases: Science Direct, Scopus, SiELO and Web of Science, and studies were selected between the years 2010 and 2020. According to the reviewed literature, to obtain the best yields of biogas, the Carbon: Nitrogen (C: N) ratio must be between 20: 1 and 30: 1, depending on the type of waste to be digested. Studies report that the moisture content can vary from 50% to 97%, however, the best yields were found when the moisture content was above 90%. The interaction between these factors, as well as the appropriate proportions of organic residues within the biodigester, is characterized as an effective and promising way to enhance the amount of methane present in the biogas composition.*

**Keywords:** anaerobic digestion, carbon/nitrogen ratio, co-digestion, moisture content, organic solid waste.

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

\*Autor correspondente: Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba. Cidade Universitária, s/n - Conj. Pres. Castelo Branco III, PB, 58051-900. Email: [grazielaapfreitas@gmail.com](mailto:grazielaapfreitas@gmail.com)

## Resumo

A digestão anaeróbia de resíduos orgânicos é considerada uma técnica viável do ponto de vista ambiental e econômico para tratar e reaproveitar os subprodutos oriundos deste processo. Para a otimização deste processo, faz-se necessário que algumas variáveis sejam levadas em consideração. Objetivou-se com este artigo, realizar um levantamento bibliográfico a respeito da influência da relação C:N e umidade do substrato no tratamento de resíduos sólidos orgânicos através do processo da digestão anaeróbia. Realizou-se um levantamento de dados nas seguintes bases de dados: Science Direct, Scopus, SiELO e Web of Science, e foram selecionados estudos entre os anos de 2010 e 2020. De acordo com a literatura revisada, para se obter os melhores rendimentos de biogás, a relação Carbono:Nitrogênio (C:N), deve estar compreendida entre 20:1 e 30:1, a depender do tipo de resíduo a ser digerido. Os estudos relatam que o teor de umidade pode variar desde 50% até 97%, no entanto, os melhores rendimentos foram encontrados quando o teor de umidade se apresentou acima de 90%. A interação entre esses fatores, assim como as proporções adequadas de resíduos orgânicos dentro do biodigestor, caracteriza-se como uma forma eficaz e promissora para potencializar a quantidade de metano presente na composição do biogás.

**Palavras chave:** co-digestão, digestão anaeróbia, resíduos sólidos orgânicos, relação carbono/nitrogênio, teor de umidade.

---

## Introdução

Resíduos sólidos (RS) caracterizam-se como sendo subprodutos provenientes das atividades humanas, que possuem qualquer processo tecnológico de aproveitamento economicamente viável, permitindo a sua utilização na fabricação de novos produtos e até mesmo na produção de energia. No entanto, quando destinados a locais inadequados, são considerados um dos principais problemas ambientais da atualidade (Santos *et al.*, 2020).

No Brasil, o principal marco regulatório sobre os RS é a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que representa um grande avanço na área, determinando a responsabilidade compartilhada da sociedade civil, iniciativa privada e poder público em relação às possíveis soluções referentes aos impactos negativos provenientes da geração de RS.

Segundo Santos *et al.* (2020), são desperdiçados mais de 1.3 bilhões de toneladas de RS por ano no planeta, de origem urbana, domiciliar, comercial, hospitalar e industrial, dentre outras. A maior parte deste volume é disposta em lixões, corpos hídricos, terrenos baldios e outros locais inapropriados para disposição destes resíduos.

No ano de 2019, foram geradas no Brasil 79 milhões de toneladas de RS, o que equivale a 216 mil toneladas diárias. Destes, aproximadamente 52% são compostos por material orgânico putrescível (ABRELPE, 2019), passível de fermentação, que quando descartado inadequadamente, causa impacto negativo ao meio ambiente.

O desperdício dos restos de alimentos ocorre em todas as etapas de produção, desde o momento de preparo até o consumidor final, consequência da falta de cuidado no manuseio, falta de logística no transporte e do acondicionamento inadequado dos produtos, visto que no Brasil são totalizados um descarte de 41 mil toneladas diárias de alimentos na forma de resíduos (FAO, 2015; Ferreira, 2015).

Finnveden *et al.* (2005) apontam que uma das formas de minimizar impactos negativos decorrentes da produção elevada de RS é através do aproveitamento energético, proveniente do tratamento da fração orgânica dos RS. A substituição de combustíveis fósseis por RS na produção de energia, surgiu como uma alternativa para reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e aumentar o uso de fontes de energias renováveis, prática que já vem sendo utilizada em vários países. Outra solução importante para a redução da emissão de GEE é a proibição do envio de matéria orgânica para os aterros sanitários, tendo sido gradualmente adotada pelos países europeus. Tal medida também é adotada no Brasil, prevista na PNRS, que estabelece a destinação apenas dos rejeitos para aterros sanitários.

Vale destacar que o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030) aponta o tratamento dos resíduos orgânicos RO como uma solução viável do ponto de vista ambiental e econômico, contribuindo com a expansão da oferta de energia alternativa até 2030 (Brasil, 2010).

#### Resíduos Sólidos Orgânicos

Os resíduos sólidos orgânicos (RO) são constituídos por restos de alimentos, podas e outros itens putrescíveis e representam mais de 50% da fração de RS urbanos coletados (Souza; Oliveira, 2009; Souza; Guadagnin, 2009; Fernan do Lima, 2012; Brasil, 2020). Mesmo em cidades com maior grau de industrialização, o índice de geração de RO pode atingir percentuais superiores a 57% (Agostinho *et al.*, 2013; Zago; Barros, 2019).

No entanto, no Brasil, de acordo com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, apenas 1.6% dos RO gerados, receberam tratamento adequado, sendo a fração remanescente (98.4%) enviada a aterros sanitários (Brasil, 2015).

Em geral, a destinação dos RO ainda é o aterro sanitário, para os quais cerca de 43 milhões de toneladas são encaminhadas anualmente (ABRELPE, 2019). O custo do sistema de coleta e destinação destes resíduos, em sua maioria, não é recuperado. Além disso, nos aterros, os RO emitem gás metano para a atmosfera, contribuindo para a emissão dos GEE. Vale ressaltar, que os RO podem gerar biogás e biofertilizantes, especialmente, se produzidos com material de fontes selecionadas (Abarca; Maas; Hogland, 2013; Zambon, 2018).

Devido à elevada quantidade de RO gerados, a União Europeia definiu algumas ações voltadas à redução de sua geração, dentre estas, disseminar boas práticas de gestão e tratamento dos resíduos alimentares (European Commission, 2015).

No Brasil, a PNRS, através da Lei 12.305/2010 prever, no art. 36, inciso V, a necessidade de implantação, pelos titulares dos serviços, “de sistemas de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articulação com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido” (Brasil, p.14, 2010). Desta forma, entende-se que o aproveitamento dos RO, a introdução da coleta seletiva e da disposição final adequada dos resíduos, fazem parte das obrigações dos municípios instituída pela referida Lei. Esta Lei também responsabiliza os cidadãos e governantes sobre a prevenção e a redução na geração de RS, manuseio, tratamento e disposição adequada.

#### Digestão anaeróbia

Tento em vista a redução dos impactos negativos provenientes da elevada geração de RO, faz-se necessário buscar medidas alternativas para otimizar o processo de tratamento destes, a fim de reduzir as emissões de gases poluentes que aumentam o efeito estufa, reduzir o volume de resíduos enviados ao aterro sanitário, além de gerar benefícios econômicos com a produção de energia limpa. A digestão anaeróbia (DA) aplicada ao tratamento de RO tem se apresentado uma alternativa promissora, tanto pela redução do volume desses resíduos, que seriam dispostos em aterros sanitários, quanto pela produção de biogás com elevado poder calorífico, o qual pode ser utilizado em processos térmicos ou elétricos, assim como pela mitigação dos efeitos causados pelos GEE (Girardi Neto; Silva; Pinheiro, 2017; Ren *et al.*, 2018).

A DA de RO é um tipo de tratamento através do qual as cadeias de carboidratos, lipídios e proteínas são transformadas em metano, a unidade mais simples dos hidrocarbonetos. Esse tipo de bioconversão tem várias vantagens, sendo uma delas a produção de uma fonte direta de energia, como o gás metano (Bortolini *et al.*, 2020).

A degradação da matéria orgânica ocorre em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, sendo que a metanogênese é normalmente a etapa limitante do processo, conduzida pelas archaeas metanogênicas, de crescimento mais lento, de 2 a 4 dias, e mais sensíveis à variação das condições do meio (Girardi Neto; Silva; Pinheiro, 2017).

Para mensurar a evolução do processo, algumas variáveis devem ser monitoradas, tais como: a composição do substrato a ser digerido, os valores de pH, temperatura, alcalinidade, demanda química de oxigênio (DQO), ácidos graxos voláteis (AGV) e a produção e composição de biogás. A DA pode ter sua eficiência reduzida devido a alterações das variáveis mencionadas.

Um importante parâmetro refere-se à composição do substrato, em especial à relação C:N e teor de umidade, e consequentemente desequilíbrio de nutrientes presentes nos materiais a serem tratados. Baixa quantidade de matéria orgânica, alta concentração de nitrogênio e metais pesados, podem vir a ocasionar desestabilização no processo (Callaghan *et al.*, 2002; Mata-Alvarez *Et al.*, 2014).

Diante do exposto, objetivou-se com o presente estudo, apresentar uma revisão de literatura do período 2010-2020 acerca da influência da relação C:N e teor de umidade do substrato na geração de biogás decorrentes da DA de RO.

### Metodologia

Este artigo trata de uma revisão integrativa da literatura na qual permitiu estabelecer relações de produções anteriores, com temáticas recorrentes, apontando novas perspectivas e consolidando a área de conhecimento.

Para o desenvolvimento do estudo, foram tomadas as seguintes etapas: seleção de bancos de dados a serem pesquisados; definição de critérios de inclusão e exclusão; análise de estudos previamente selecionados e apresentação da revisão.

Optou-se por utilizar o Periódico CAPES nas seguintes bases de dados: *Science Direct*, *Scopus*, *SIELO* e *Web of Science* por estes apresentarem influência relevante no âmbito científico, assim como elevado acervo na área de tecnologias.

Para pesquisa dos artigos usou-se os seguintes descritores: “Resíduo sólido orgânico”, “Relação C:N”, “Digestão anaeróbia”, “Composição substrato”, “Biogás”, “Co-digestão”, “Umidade”. Quanto aos critérios de inclusão, definiu-se artigos publicados sobre o tema em qualquer idioma, publicados no período entre 2010 – 2020 com resumo, metodologia, resultados e conclusão disponíveis para leitura. A busca bibliográfica ocorreu simultaneamente nas quatro bases de dados. Foram excluídos artigos que não estivesse no intervalo de tempo de estudo, artigos que não tratassem da relação C:N no tratamento de RO e trabalhos que somente o resumo estavam disponíveis para download.

Os trabalhos utilizados foram apresentados na forma de quadros, apresentando-se: o tipo de substrato estudado, descrição sucinta do artigo e referência. Já os resultados foram exibidos na forma de gráficos, com análises comparativas entre os resultados abordados pelos autores, assim como uma visão crítica a respeito da temática.

## Resultados e discussões

### Artigos selecionados para desenvolvimento do estudo

Na Tabela 1, pode-se observar a listagem dos estudos analisados, publicados no período 2010-2020, sobre a perspectiva da influência de composições ideais de C:N no tratamento anaeróbio de RO.

**Tabela 1.** Estudos selecionados segundo título, descrição, autor e ano.

Substrato analisado	Descrição	Referência
Resíduos alimentares, frutas, vegetais e resíduos de jardim	Viabilidade da DA de resíduos alimentares com três índices de sólidos totais 16%, 13% e 11%.	Dong; Zhenhong; Yong ming (2010)
Resíduos de frutas e verduras	Capacidade de biodegradação anaeróbia dos resíduos de frutas e verduras por meio do monitoramento da DQO e da relação C:N.	Sgorlon <i>et al.</i> (2011)
Resíduos alimentares e esterco suíno	Viabilidade da co-digestão de RO com ênfase nos fatores que influenciam o desempenho da DA	Zhang; Lee; Jahng (2011)
Resíduos de frutas, vegetais e restos de alimentos	Potenciais de produção de biogás de RO com biodegradabilidades de 59% e 83%	Lin <i>et al.</i> (2011)
Resíduos alimentares e lodo de esgoto	Apontou-se a faixa das razões C:N para potencializar a quantidade de metano produzida usando o teste de potencial bioquímico de metano	Siddiqui; Horan; Kofi (2011)
Esterco bovino, resíduo orgânico e lodo de esgoto	Maximizou-se a produção de biogás, através de um pré tratamento dos RO, sobre condições mesofílicas e termofílicas usando tanque agitado continuamente e operando em diferentes tempos de degradação.	Maranon <i>et al.</i> (2012)
Resíduos alimentares, resíduos de frutas e vegetais e resíduos verdes	Utilizou-se duas simulações para atingir a razão C:N 27 e 32 usando matérias-primas biodegradáveis, como resíduos alimentares, resíduos de frutas, vegetais e resíduos verdes.	Zeshan; Karthikeyan (2012)
Esterco de galinha, palha de trigo e resíduos alimentares	Realizou-se uma análise do rendimento de metano na digestão anaeróbica de resíduos de alimentos acoplados a esterco de animais com base na composição otimizada da relação C:N.	Wang <i>et al.</i> (2012)
Resíduos orgânicos	Analisou-se a co-digestão de RO com ênfase nas características e necessidade de pré-tratamento do substrato antes de sua digestão para alterar suas características físicas e/ou químicas e a utilidade de modelos matemáticos simulando o processo de co-digestão anaeróbia.	Esposito <i>et al.</i> (2012)

Substrato analisado	Descrição	Referência
Resíduos orgânicos	Avaliou-se o potencial de produção de biogás da co-digestão de resíduos orgânicos e lodo de estação de tratamento de efluentes.	Dornack (2012)
Resíduo de maçã	Investigou-se os efeitos das composições químicas de subprodutos agrícolas e resíduos de alimentos sobre a produção de biogás.	Kafle; Kim (2013)
Palha de milho	Verificou-se o desempenho de um reator anaeróbio e a influência de comunidades microbianas submetidas a temperatura mesofílica e termofílica.	Shi <i>et al.</i> (2013)
Resíduos alimentares e esterco de gado	Identificou-se parâmetros que influenciam diretamente na produção de biogás e metano através da DA de resíduos alimentares e esterco de gado.	Zhang <i>et al.</i> (2013)
Resíduos alimentar	Analisou-se diferentes composições de resíduo alimentar para potencializar a produção de biogás.	Wan <i>et al.</i> (2013)
Resíduo de arroz, esterco de galinha, esterco de vaca e resíduo alimentar	Avaliou-se os efeitos da temperatura e da relação C:N no desempenho da co-digestão anaeróbica de esterco de animais e palha de arroz.	Wang <i>et al.</i> (2014)
Casca de cacau, laranja e banana	Apresentou-se uma composição ótima, em termos de relação C:N a partir de diferentes RO gerados por indústrias para otimizar a produção de biogás.	Zanetti; Arrieche; Sartori (2014)
Resíduo alimentar	Analisou-se as o processo de DA de resíduos alimentares sobre duas condições (pré-tratamento e co-digestão) para potencializar a produção de metano.	Zihan <i>et.</i> (2015)
Resíduos de carne, frutas e vegetais	Avaliou-se a composição ideal da relação C:N na mistura de resíduos alimentares para maximizar a produção de biogás.	Tanimu <i>et al.</i> (2014)
Esterco de galinha e palha de milho	Co-digestão de esterco de galinha e palha de milho com diferentes teores de C:N	Li <i>et al.</i> (2014)
Resíduos de mandioca e esterco suíno	Co-digestão sobre sete diferentes proporções de sólidos voláteis	Ren <i>et al.</i> (2014)
Resíduo alimentar	Eficiência e estabilidade da co-digestão de resíduos de alimentos e lodo ativado em diferentes temperaturas.	Gou <i>et al.</i> (2014)
Resíduo alimentar e resíduo de vegetais	Efeito dos níveis de controle de sólidos totais na co-digestão de resíduos alimentares e resíduos verdes. Os testes anaeróbicos foram conduzidos em lotes de 5% a 25% de sólidos totais.	Chen <i>et al.</i> (2014)
Resíduo de batata e esterco de vaca	Aumento da produção de biogás por co-digestão da polpa de batata com esterco de vaca.	Sanaei <i>et al.</i> (2014)

Substrato analisado	Descrição	Referência
Resíduo alimentar e palha de arroz	Estudo em escala laboratorial de diferentes resíduos alimentares conduzidas com uma carga orgânica total de 5 gSV/L.	Yong <i>et al.</i> (2015)
Resíduo alimentares e casca de arroz	Analisou-se o acúmulo de ácidos graxos voláteis na digestão dos resíduos de alimentos e suas consequências na maximização da produção de biogás.	Haider <i>et al.</i> (2015)
Resíduos orgânicos	Apontou-se o perfil de concentração de gás sulfídrico (H <sub>2</sub> S) presente no biogás gerado a partir da biodigestão da fração orgânica dos resíduos sólidos municipais recém dispostos em aterro sanitário.	Schirmer <i>et al.</i> (2015)
Resíduo alimentar e casca de azeitona	Investigou-se a intensificação do processo de DA com pré-tratamento térmico para melhorar a conversão biológica dos constituintes do substrato a ser digerido.	Pagliaccia <i>et al.</i> (2015)
Resíduos de azeitona e águas residuais	Efeitos do processo de co-digestão e de diferentes métodos de pré-tratamento.	Alagoz, Yenigun, Erdinçler (2015)
Resíduos de batata doce	Viabilidade técnica e econômica da produção de metano em planta piloto	Taborda <i>et al.</i> (2015)
Esterco suíno e palha de arroz	Reduziu-se o efeito do acúmulo de nitrogênio pela adição de palha de arroz ao esterco de suíno.	Riya <i>et al.</i> (2016)
Resíduos alimentares	Analisou a decomposição de restos alimentares sobre controle da umidade, temperatura, acidez e quantidade de sólidos voláteis.	Castro e Mateus (2016)
Esterco suíno e palha de arroz	Investigou-se o efeito do esterco de porco misturado com palha de arroz na produção de metano e desenvolvimento da comunidade microbiana submetida a temperatura de 55°C.	Zhou <i>et al.</i> (2016)
Esterco de vaca e palha de milho	O uso de enzimas para melhorar a co-digestão de esterco de vaca e palha de milho foi explorado, incluindo pré-tratamento com celulase e adições diretas de amilase e protease.	Wang <i>et al.</i> (2016)
Resíduos alimentares e lodo de esgoto	Identificaram-se as proporções ótimas de composição de carboidratos, proteínas e lipídeos para manter alto rendimento de metano e estabilidade na digestão anaeróbia.	Li <i>et al.</i> (2017)
Resíduos alimentares, palha de milho e esterco de gado	Investigou os efeitos das fontes de RO no desempenho da DA variando a quantidade de nutriente dos resíduos alimentares sobre pré-tratamentos. Os efeitos foram analisados em termos de sólidos voláteis, razões C:N e a composição química dos resíduos.	Lu <i>et al.</i> (2017)

Substrato analisado	Descrição	Referência
Resíduo alimentar	Analisou-se a combinação do C:N como parâmetro para avaliar a potencial de maximização da produção de biogás sobre condições anaeróbias.	Wang <i>et al.</i> (2017)
Resíduo de frutas e dejetos suíno	Estudaram-se as propriedades abióticas e a comunidade microbiana de um digestor anaeróbio em escala piloto. O sistema funcionou em condições mesofílicas, com várias taxas de carga orgânica formada por uma mistura de diferentes proporções entre o resíduo de fruta, lodo vegetal, resíduo de tomate e esterco suíno.	Ros et al (2017)
Resíduo alimentar	Avaliou a viabilidade da valorização de resíduo alimentar por co-digestão seca com resíduo de papel utilizando sistemas descontínuos. Mais precisamente, a influência da modificação do substrato e do inóculo no desempenho de um sistema de co-digestão anaeróbica de lote seco.	Capson-Tojo <i>et al.</i> (2017)
Resíduos de trigo e esterco suíno	Relação C:N da co-digestão em batelada de resíduos de trigo acoplado com esterco suíno.	Hassan <i>et al.</i> (2017)
Resíduos alimentares e resíduos urbanos	Avaliou-se a relação C:N de forma balanceada em escala laboratorial sobre condições mesofílicas.	Shahbaz <i>et al.</i> (2018)
Resíduos alimentares, esterco de galinha e grama	Processo de duas etapas para aumentar o rendimento do biogás, a eficiência e a estabilidade da co-digestão em um sistema de alto teor de sólidos.	Li et at. (2018)
Resíduo orgânico	Realizou-se uma análise experimental da relação C:N e a composição de nutrientes para diferentes tendências de produção de metano.	Xue <i>et al.</i> (2020)
Resíduo de batata doce e esterco suíno	Analisou-se as melhores condições da co-digestão de resíduos de batata doce e esterco suíno nas relações C:N de 10:1, 13:1, 17:1 e 22:1	Villa (2018)

### Relação C:N e co-digestão de resíduos alimentares no processo de DAN

O processo de DA, as proporções de co-substratos são variáveis essenciais, especialmente em se tratando da relação C:N. O estabelecimento e manutenção destes parâmetros são fatores-chave para uma co-digestão bem sucedida. A quantidade de nitrogênio e carbono é um fator importante na produção de biogás, visto que servem de alimento para as bactérias anaeróbias, as quais utilizam o nitrogênio para formar sua estrutura celular e o carbono para obter energia (Jain *et al.* 2015).

A presença desses nutrientes deve se apresentar de forma equilibrada. Um parâmetro para analisar tal equilíbrio é a relação C:N. Valores elevados da razão C:N induz uma baixa taxa de solubilização de proteína e baixas concentrações de nitrogênio no sistema, insuficientes para manter a biomassa celular e levando à rápida degradação do nitrogênio pelos microorganismos, diminuindo a produção de biogás (Mao *et al.*, 2015). Observa-se também uma excessiva acidificação do meio devido à rápida degradação do substrato durante o estágio inicial da DA (Chatterjee; Mazumder, 2019). Por outro lado, valores baixos da razão C:N podem resultar em utilização insuficiente de fontes de carbono, assim como indicam alta concentração de nitrogênio amoniacal, aumentando o risco de inibição por amônia, que é tóxica para as bactérias metanogênicas (Mao *et al.*, 2015).

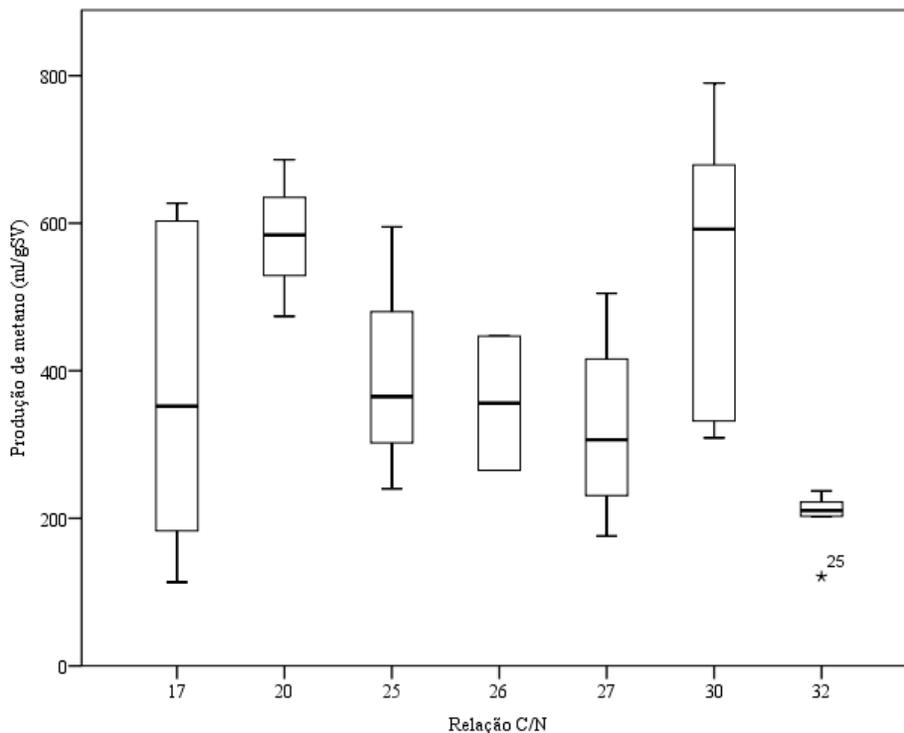
Na co-digestão é necessário que a quantidade de nitrogênio seja inferior à de carbono, fazendo com que ocorra a redução da liberação de amônia. Caso o nitrogênio esteja abaixo do recomendado, haverá prejuízo à decomposição da matéria orgânica devido à carência nutricional (Esposito *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2017).

De acordo com a literatura revisada a relação C:N mais utilizada pelos autores foi de 17, 20, 25, 26, 27, 30 e 32 (FIGURA 1), para o início do tratamento, refletindo na produção final de metano. A produção máxima de metano foi de 800 ml.gSV<sup>-1</sup> para a C:N de 30, ocorrendo redução considerável na produção de metano quando a C:N foi de 32: 121 ml.gSV<sup>-1</sup>.

Identificou-se também a geração de metano com a C:N fora dos valores recomendados pela literatura, sendo estes de 10, 13, 16, 18, 38 e 40. Siddiqui, Horan e Kofi (2011) relataram sobre a co-digestão de RO e lodo de esgoto com diferentes relações C:N (10, 15, 20 e 30): a maior produção de CH<sub>4</sub> foi com a relação C:N equivalente a 15.

Xue *et al.*, (2020) analisaram a relação C:N cumulativa de biogás em triplicata para 700 ml de líquido contendo material orgânico. A concentração de sólidos voláteis foi de 25 g/l e a relação C:N de 20, 25 e 30. Para a razão C:N de 20, os autores obtiveram a produção de biogás de 8090, 8965 e 8410 ml, nas triplicatas. O aumento da razão C:N para 25 também aumentou os níveis de produção cumulativa de biogás para 8197, 10079 e 12322 ml, nas triplicatas. Ao aumentar a relação C:N 30, gerou-se uma produção de biogás de 1,357 ml apenas para uma das composições analisadas, enquanto as demais reduziram para 6806 e 10167 ml.

Villa (2018) estudou as proporções de C:N de 10, 13, 17 e 22 para a degradação de resíduos de mandioca. O autor apontou que o melhor rendimento de biogás foi obtido com a razão C:N de 10, a qual apresentou geração de 300 ml/gSV de biogás. Porém, Villa (2018) mostrou que a degradação dos dois glicosídeos cianogênicos (linamarina e lotaustrulina) contidos na mandioca, formam ácido cianídrico, o que contribuiu para a um menor rendimento de biogás e consequentemente degradação dos sólidos.



**Figura 1.** Relação C:N utilizada no tratamento de RO e a produção de metano.

Fonte: Artigos da pesquisa.

Wang *et al.* (2012), verificaram que a otimização no processo de DA dos RO ocorreu quando a composição da amostra apresentou relação C:N de 25 e 30 com pH estável, baixas concentrações de nitrogênio total e  $\text{NH}_3$  livre. O potencial máximo foi alcançado com a relação C:N de 27, o que difere de Haider *et al.* (2015), que mostraram que o rendimento máximo de metano foi com a relação C:N de 20 para a co-digestão de resíduo alimentar e casca de arroz.

Para Prochazka *et al.* (2012) o nitrogênio utilizado na relação C:N é um agente de suma importância em todos os bioprocessos, principalmente na DA, pois altas concentrações deste componente, especialmente na forma de amônia livre ( $\text{NH}_3$ ), são tóxicas para a biomassa anaeróbia. Desta forma, pode-se ajustar os valores de nitrogênio através da co-digestão dos RO e esterco de animal, utilizado como co-substrato na maioria dos processos de DA. A exemplo tem-se Wang *et al.* (2012), que utilizaram o esterco bovino, esterco de aves e palha de trigo como co-substrato aos resíduos alimentares, pois segundo os autores, o esterco de animal apresenta altos níveis de nitrogênio resultando em rendimento de metano maior.

No entanto, Wang *et al.* (2012) apontaram que os excrementos de animais quando inserido em excesso, podem vir a ocasionar a acumulação de amônia, e consequentemente ineficiência na metagênese (Wang *et al.*, 2012).

Wang *et al.* (2014) verificaram que a inibição do processo pela produção de amônia para as composições de resíduo de arroz e esterco de galinha foi observada com uma razão C:N de 15 e 20. O aumento da relação para 25 e 30 reduziu os efeitos negativos da amônia e os potenciais máximos de metano foram alcançados, aproximadamente três vezes superior em comparação com relação C:N de 15, isto se deve ao fato de que substratos que têm relações C:N baixas contêm concentrações relativamente altas de amônia, excedendo as concentrações necessárias para o crescimento microbiano e provavelmente inibindo a DA (Wang *et al.*, 2012). Já Maranon *et al.* (2012) relataram que a C:N ideal está entre 16 e 18 na co-digestão semicontínua de resíduos alimentares e esterco de gado.

Além do esterco de animal utilizado para balancear os níveis de nitrogênio na DA, Procházka *et al.* (2012) afirmaram que para potencializar o tratamento em termos de quantidade de metano produzida, se deve utilizar também a temperatura de processo em termos termofílicos.

Como se pode observar, os valores de C:N não necessariamente apresentam-se dentro dos recomendados, mas depende do tipo de substrato utilizado na DA. Porém, recomenda-se utilizar a C:N entre 20 e 30 para resíduos orgânicos, pois quando esta encontra-se em equilíbrio, aumenta-se a capacidade de tamponamento do pH, reduz os níveis de toxicidade da amônia e acumulação de ácidos graxos voláteis, consequentemente influenciando positivamente na eficiência do tratamento (Xue *et al.*, 2020; Marañon *et al.*, 2012).

Outro fator que contribui para a eficiência no tratamento anaeróbio é a quantidade de nutrientes presentes em cada tipo de resíduo, sendo alguns ricos em carboidratos, gorduras, lipídeos e outros. Tais nutrientes possuem potencial biodegradável diferente. Os carboidratos, por exemplo, são degradados de maneira fácil e rápida, o que pode levar a problemas de instabilidade, devido à quantidade de ácidos graxos que são formados no processo, e reduzida capacidade de tamponamento, com efeitos na diminuição da alcalinidade (Kalrsson *et al.*, 2014).

Para Kalrsson *et al.* (2014), necessário se faz que os compostos orgânicos ricos em carboidratos devam ser misturados com um material que contenha nitrogênio. A casca de arroz, por exemplo, é lentamente biodegradável quando submetida à DA devido à sua alta relação C:N e ao alto conteúdo de lignina, podendo ser utilizada como um co-substrato para superar a rápida acidificação em decorrência dos materiais ricos em carboidratos (Haider *et al.*, 2015). Já os materiais orgânicos compostos por proteínas podem vir a resultar em eficiência no tratamento, no que se diz respeito à elevada quantidade de metano gerada ao final do processo (Haider *et al.*, 2015).

Os níveis de lipídeos, carboidratos e proteínas (LCP) também foram avaliados por Xue *et al.* (2020). Os autores apontaram que tanto os efeitos interativos entre os valores de carbono e nitrogênio presentes em uma mistura de RO, quanto os LCP influenciam fortemente do desempenho do processo de DA. Quando utilizado o teor de lipídios de 63% e a relação C:N de 25, a produção de metano foi a mais elevada, sendo está de 595 ml.gSV<sup>-1</sup>, o que difere de Sun *et al.* (2014), que afirmaram que teores de lipídeos superiores a 60% são inibidores para a produção de metano.

Li (2017) apontou que a proporção de carboidratos deva ser maior que 8.3%, proteína menor que 5.0%, lipídio menor que 5.6% e a razão C:N de 25, de forma a potencializar o desempenho do tratamento.

Os valores da relação C:N também podem variar em função de alguma ineficiência no processo. Segundo Sgorlon *et al.* (2011), que analisaram a co-digestão de frutas e verduras, os valores de C:N aumentaram ao invés de reduzir durante o tratamento anaeróbio, em decorrência de fatores que favoreceram a inibição microbiana, a exemplo o baixo teor de umidade. Assim, a biomassa morta pode ter sido o fator responsável pelo aumento do teor de carbono e minimização da capacidade de degradação da matéria orgânica (Sgorlon *et al.*, 2011).

Para Zhang, Su e Tan (2013) os restos de palhas vegetais podem ser utilizados para se obter um bom equilíbrio na relação C:N, e conseqüentemente evitar a inibição da produção de gás na fermentação dos resíduos alimentares, causada pelo alto teor de nitrogênio. Além disso, outro benefício da co-digestão destes resíduos e palha foi a redução da concentração de sódio e outros elementos catiônicos, que relataram ter efeitos inibitórios sobre microrganismos em resíduos alimentares.

**Tabela 2.** Relação C:N de substratos utilizados na mono-digestão do processo de DA .

Substratos	Relação C:N	Referência
Esterco de aves	10	Li <i>et al.</i> (2014)
Esterco suíno	7 – 12	Ren <i>et al.</i> (2014); Zhou <i>et al.</i> (2016)
Esterco ovino	5 – 16	Wang <i>et al.</i> , (2016)
Resíduos de frutas	18	Ros <i>et al.</i> (2017)
Resíduo alimentar	11 – 34	Capson <i>et al.</i> (2017); Gou <i>et al.</i> (2014)
Resíduos de azeitona	36	Alagoz <i>et al.</i> (2015); Riggio, Yenigun; Erdinler, (2015)
Resíduo verde	41	Chen <i>et al.</i> (2014)
	43 – 52	Wang <i>et al.</i> (2016)
Palha de milho	63 – 79	Li <i>et al.</i> (2014); Yong <i>et al.</i> (2015)
Palha de arroz	125	Zhou <i>et al.</i> (2016)

Observou-se que nos trabalhos analisados os valores da relação C:N ideais variaram de acordo com o substrato analisado. Contudo, como pode ser observado na Figura 1, maiores valores na produção de metano foram identificados no intervalo da relação C:N de 20 a 30. De maneira geral, percebeu-se que a co-digestão de resíduos é mais eficaz quando comparada com a mono-digestão, visto que na mono-digestão, um único substrato é rico em carbono ou nitrogênio (Tabela 2), de forma que é difícil manter uma relação C:N equilibrada. Portanto, para se obter uma comunidade microbiana eficiente no tratamento, é necessário utilizar co-substratos complementares para modular a relação C:N (Shi *et al.*, 2013; Riya *et al.*, 2016; Wan *et al.*, 2013).

#### Influência da umidade no tratamento de resíduos orgânicos através da DA

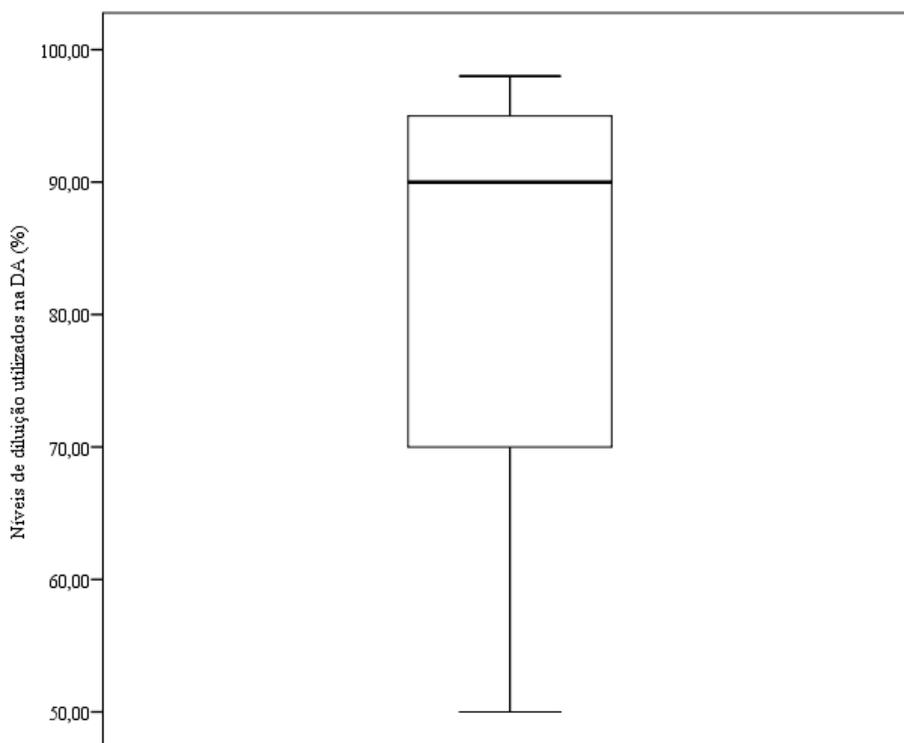
O teor de umidade dos resíduos é influenciado pelas condições climáticas da localidade, bem como pelas suas características e pode apresentar uma ampla variabilidade. Segundo Xu *et al.* (2018) os teores de sólido total (ST) dos resíduos alimentares apresentam valores de menos de 2%, para algumas águas residuais de processamento de alimentos, até mais de 90%, como resíduos de alimentos para animais de estimação ou alguns resíduos de alimentos vencidos no varejo. Na Tabela 3 são apresentados valores de ST e umidades para alguns resíduos orgânicos.

**Tabela 3.** ST e umidade de resíduos orgânicos.

Resíduos alimentares	Teor de ST (%)	Umidade (%)	Fonte
Resíduos alimentares da cantina (alimentos mistos cozinhados e não cozinhados, como massa, arroz, carne, cascas de fruta e vegetais)	29.4	70.6	Browne e Murphy (2013)
Resíduos alimentares coletados de um restaurante	29.3	70.7	Agyeman e Tao (2014)
Resíduos alimentares coletados de um refeitório de uma universidade	16.7	83.3	Meng et al (2015)

A umidade é um fator primordial no processo de DA, servindo como substrato e fornecendo os nutrientes necessários ao desenvolvimento dos microrganismos, além de ser agente condutor de enzimas e de outros metabólitos que atuam na decomposição dos RO. Um dos problemas decorrentes do baixo teor de umidade no processo de DA é a limitação do transporte de massa, e conseqüentemente ocorrendo pouca penetração e distribuição dos micro-organismos na extensão do substrato (Pinheiro Neto, 2015).

Como mencionado por Sgorlon *et al.* (2011) a DA também é influenciada pelos níveis de diluição dos compostos orgânicos, tais níveis dependem diretamente do tipo de RO a ser tratado. Os trabalhos analisados mostraram que o nível máximo de diluição da composição de RO foi de 95% de água como pode ser observado na Figura 2.



**Figura 2.** Níveis de diluição dos resíduos orgânicos submetidos a DA.

Fonte: Artigos da pesquisa.

Schirmer *et al.* (2015) encontraram resultados satisfatórios para a geração de metano com um teor de umidade da composição dos RO acima de 90%, entretanto, também foi evidenciado a rápida geração de H<sub>2</sub>S.

O teor de água presente na composição dos RO foi de 97% para o melhor desempenho da DA realizada por Tanimu *et al.* (2014). Porém, Mayer (2013) relatou que se deve ter atenção com a umidade excessiva, e acima de 90%, pois esta, quando não bem dimensionada, pode vir a influenciar negativamente à atividade dos microrganismos devido ao estímulo da atividade fermentativa, que ocasiona o acúmulo de AGV e por consequência, a diminuição do pH e

acidificação do reator. Xu *et al.* (2018) relatam que quando a umidade se encontra acima dos valores recomendados, e com ausência de controle do pH, ocorre na diminuição do tempo para se chegar à fase ácida do processo anaeróbio, ocorrendo conseqüentemente ineficiência no processo da DA (Xu *et al.*, 2018). Veluchamy e Kalamdhad (2017) reforçam que altas concentrações de água podem favorecer a liberação de radicais altamente reativos no meio.

Todavia, na ausência de neutralização, a decomposição poderá permanecer estagnada. Na maioria dos trabalhos realizados em escala de laboratório o rendimento do metano tem sido abaixo quando a umidade não se encontra dentro dos padrões pré-estabelecidos. De forma que a DA quando realizada com baixo teor de umidade impede também o desenvolvimento dos fungos, dificultando a etapa de hidrólise, primeira fase da DA dos resíduos (Manassero *et al.*, 1996; Zhang *et al.*, 2014; Ferreira, 2015).

Castro e Mateus (2016) foram os únicos autores que verificaram os melhores rendimentos de metano quando a umidade se apresentou em 70%. Segundo os autores, quando a umidade está abaixo deste valor, a produção de biogás será menor, o que pode estar relacionada a alguns fatores como: limitação no transporte de massa, pouca penetração e distribuição dos microrganismos em toda a massa do substrato.

O teor de umidade também influencia no processo de escolha do tipo de reator. Segundo Lin *et al.* (2018) a DA pode ser operada com ST variando de 5% a 35%. Diante da diversidade de configurações dos reatores existentes a definição daquele a ser utilizado no tratamento da biomassa irá depender da umidade e quantidade do substrato, espaço físico disponível para implantação, bem como recursos financeiros e de pessoal (Kunz; Steinmetz; Amaral, 2019). Conforme a fonte citada, em relação ao regime de umidade, os reatores podem ser classificados, como: de digestão úmida, com sólidos totais inferior a 10%; de digestão semissólida, com sólidos variando de 10 a 15%; e de digestão sólida ou *dry-fermentation*, quando os sólidos são superiores a 15%. Nesses reatores são observados diferentes valores de produção de biogás.

No estudo realizado por Veluchamy e Kalamdhad (2017) foi estudado o efeito da difusão de massa no processo de DA sólida do lodo de celulose e papel e esterco de vaca com diferentes valores umidade, de 73 a 99%. Os autores identificaram que o processo de DA apresentou o limite entre 80 e 85% do teor de umidade, com a taxa máxima de produção de metano com 83% de umidade e diminuição dessa taxa quando a umidade é inferior à 80%.

Em alguns estudos a influência do teor de umidade dos resíduos no processo de DA foi medido por meio do teor de ST presentes, visto que quanto menor o teor de ST maior é sua umidade. Abbassi-Guendouz *et al.* (2012), analisaram diferentes teores de ST do papelão, de 10% a 35%, na atividade metanogênica. Os autores identificaram uma diminuição na produção de metano do

papelão devido ao aumento do teor de ST de 10% para 25%. Já com o teor de ST de 30% a atividade metanogênica apresentou-se instável e com 35%ST a produção de metano foi inibida. Desse modo os autores concluíram que o teor limite de ST é de 30%. Ou seja, quando a umidade foi 70% o processo de DA do papelão ainda apresentou resultados satisfatórios, com melhor desempenho quando o teor de ST foi de 10%, 90% de umidade.

Li *et al.* (2014) também analisaram diferentes teores de ST dos resíduos biológicos coletados na cidade de Karlsruhe na Alemanha. O processo de digestão sólida foi estudado pelos autores, com teores de ST dos resíduos de 20%, 25% e 30%. Além disso também foi analisado a influência da temperatura (20, 37 e 55 °C) em cada um desses valores de teor de ST. Os autores observaram que os resíduos com 20% ST possuíam água suficientemente disponível para a formação de biogás pela microflora estabelecida em todas as faixas de temperatura estudada. Já com os resíduos com 25% de ST, a produção de biogás no ensaio de DA à 37°C foi restrita e incompleta, e só foi concluída na temperatura de 55°C. Em relação ao processo de DA com os resíduos com 30% de ST, os autores identificaram que muito pouco metano foi produzido em todas as temperaturas analisadas, mesmo à 55°C, sugerindo que a maioria da umidade estava fortemente ligada às partículas e o aumento da temperatura não poderia aumentar a biodisponibilidade de água necessária para bactérias acetogênicas e metanogênicas.

Peces *et al.* (2015) estudaram a influência do teor de ST na eficiência de dois pré-tratamentos, de baixa temperatura e ultrassom, na DA do grão gasto da cervejaria, um substrato lignocelulósico. Como resultado, os autores constataram que o teor de ST impacta significativamente na eficiência dos pré-tratamentos visando o aumento do rendimento de metano, que para o pré-tratamento térmico baixo (60 °C), um aumento de 6% foi associado a alguma atividade biológica intrínseca, provavelmente, correlacionado com a diminuição do ST de 220 para 100 gST/kg.

Ao analisar a influência da umidade na DA úmida ou semissólida, com teores de ST de resíduos de cenouras variando de 5% a 11,3%, Liotta *et al.* (2014) identificaram uma correlação linear entre a taxa inicial de produção de metano e o teor de ST, na qual a fase de latência e a taxa inicial de produção de metano foram inversamente proporcionais ao teor de ST. Contudo, diferentemente dos estudos mencionados acima, com teor de ST superior a 15%, conforme os resultados apresentados o rendimento final de metano, medido no final de cada experimento, foi semelhante para todos as umidades analisadas. Segundo os autores, tal fato pode ser explicado pela influência da água na conversão de ácidos em metano por bactérias metanogênicas, que pode ser mais limitada em valores mais elevados de ST.

Bollon *et al.* (2012) também identificaram relação entre a cinética de degradação e o teor de umidade. Dentre os valores de umidade analisados (82, 80, 75 e 65%), os autores observaram que a cinética de degradação do acetato é inferior a 65% MC, enquanto para umidades entre 75 e 82%, as cinéticas são semelhantes.

De acordo com os dados analisados no trabalho, constatou-se que os reatores alimentados com teor de umidade acima de 90% apresentaram uma melhor performance quando comparados aos demais, cabe ressaltar que a depender do tipo de resíduo o percentual ótimo pode variar, especialmente na DA sólida (ST>15%). Observou-se também que valores ideais de umidade, além de otimizar a produção de metano, influencia na cinética da reação. Nesse sentido, com base nos estudos apresentados, observa-se que a umidade deve ser considerada como um parâmetro importante no processo de DA.

### Considerações finais

Os resultados do presente estudo fornecem evidências de que para se obter uma produção otimizada de biogás no tratamento de RO, através da DA, torna-se indispensável balancear os parâmetros essenciais para o desenvolvimento dos microrganismos que atuam no processo. A relação C:N considerada ideal, para obter resultados satisfatórios, varia de acordo com o tipo de substrato utilizado na DA, porém a maioria dos autores apontam que esta deve-se manter entre 20 e 30.

A co-digestão dos resíduos tem se mostrado uma opção satisfatória para se chegar a valores ideais da razão C:N de forma a balancear a quantidade de carbono e nitrogênio e consequentemente aumentar a capacidade de tamponamento do pH, reduzir os níveis de toxicidade da amônia e acumulação de AGV. Todas as misturas em co-digestão, apontadas na literatura revisada, apresentaram ao final do tratamento a produção melhorada de metano, o que indicou efeito positivo deste tipo de co-digestão.

A umidade presente no biodigestor também deve ser levada em consideração no tratamento anaeróbio. A literatura revisada sugere que esta deve apresentar-se acima de 90% para potencializar o tratamento, mas pode variar a depender do tipo de resíduo. Caso estes valores estejam distintos do recomendado, pode vir a ocorrer diversos problemas no funcionamento do processo de DA, tais como o estímulo da atividade fermentativa, e liderar o acúmulo de ácidos carboxílicos, consequentemente acidificar o meio, bem como limitação do transporte de massa.

### Referências bibliográficas

- Abarca, L., Maas, G., Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, **33**(1), 220–232. Acesso em 27 de dezembro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X12004205>
- Abbassi-Guendouz, A., Brockmann, D., Trably, E., Dumas, C., Delegenés, J.-P., Steyer, J.-P., Escudié, R., (2012). Total solids content drives high solid anaerobic digestion via mass transfer limitation. *Bioresour. Technol.* **111**, 55-61.
- ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2019) Panorama Resíduos Sólidos no Brasil. Acesso em 22 de dezembro de 2020, disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama>

- Agostinho, F., Almeida, C. M. V. B., Bonilla, S. H., Sacomano, J. B., Giannetti, B. F. (2013). Resources Conservation and Recycling Urban solid waste plant treatment in Brazil : Is there a net emergy yield on the recovered materials ? *Resources, Conservation & Recycling*, **73**, 143–155. Acesso em 12 de julho de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.ez15.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S092134491300030X?via%3Dihub>.
- Alagoz, B. A., Yenigun, O., Erdinçler, A. (2015). Enhancement of anaerobic digestion efficiency of wastewater sludge and olive waste: synergistic effect of co-digestion and ultrasonic/microwave sludge pre-treatment. *Waste Manage*, **46**. Acesso em 4 de agosto de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X1530088X>
- Bollon, J., Le-hyaric, R., Benbelkacem, H., Buffiere, P. (2011). Development of a kinetic model for anaerobic dry digestion processes: Focus on acetate degradation and moisture content, *Biochemical Engineering Journal*, **56**(3), 212-218.
- Bouallagui, H., Lahdheb, H., Romdan, E. B., Rachdi, B., Hamdi, M. Improvement of fruit and vegetable waste anaerobic digestion performance and stability with co-substrates addition. *Journal of Environmental Management*, **90**(5), 1844–1849. Acesso em: 1 de setembro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479708003605>
- Bortolin, J., Tavares, M. H. F., Freitag, D. T., Kuczman, O. Removal of solids and chemical oxygen demand in poultry litter anaerobic digestion with different inocula. *Revista Ambiente e Água*, **15**(2). Acesso em: 5 de agosto de 2020, disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1980-993X2020000200306](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2020000200306)
- Brasil (2015) *Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos – 2015*, Brasil: Ministério das Cidades. Acesso em: 30 de novembro de 2020, disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos>
- Brasil (1981) *Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências*. Acesso em 30 de novembro de 2020, disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm)
- Brasil (2020) *Proposta do Plano Nacional de Resíduos Sólidos*. Ministério do Meio Ambiente - Secretaria de Qualidade 523 Ambiental. Acesso em: 22 de março de 2022, disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/conesan/sites/2>
- Brasil (2010) *Lei n. 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n.9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília DF.
- Callaghan, F. J., Wase, D. A. J., Thayanthya, K., Forsterb, C. F. (2002) Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure, *Biomass & Bioenergy*, **22**(1), 71–77. Acesso em: 10 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953401000575>
- Castro, D. S., Mateus, V. O. (2016). Produção de biogás a partir de restos de alimentos coletados em um restaurante: uma experiência a ser disseminada, XV SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, UNIFACS. Salvador, Bahia.
- Capson, T. G., Trably, E., Rouez, M., Crest, M., Steyer, J. P., Delgenes, J. P., Escudie, R. (2017). Dry anaerobic digestion of food waste and cardboard at different substrate loads, solid contents and co-digestion proportions. *Bioresour. Technol*, **233**, 166-175. Acesso em 10 de setembro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417302559>
- Chen, X., Yan, W., Sheng, K., Sanati, M. (2014). Comparison of high-solids to liquid anaerobic co-digestion of food waste and green waste. *Bioresour. Technol*, **154**, 215-221. Acesso em 10 de setembro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852413018944>
- Dong, L., Zhenhong, Y., Yongming, S. (2010). Semi-dry mesophilic anaerobic digestion of water sorted organic fraction of municipal solid waste (WS-OFMSW). *Bioresour. Technol*, **101**, 2722-2728. Acesso em 12 de setembro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852409016356>

- Dornack, C. (2012). Biogas production from organic waste and biomass - fundamentals and current situation. *Journal Vietnamese Environment*, **3**(1). Acesso em: 22 de setembro de 2020, disponível em: <https://journals.qucosa.de/jve/article/view/30>
- European Commission (2015). Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. Acesso em 15 de novembro de 2020, disponível em: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/communication-from-the-commission-to-1>
- Esposito, G., Frunzo, L., Liotta, F., Giorgano, B. (2012). A. Co-digestão anaeróbica de resíduos orgânicos. *Rev. Environmental Science Biotechnology*, **11**(4), 325–341. Acesso em 10 de setembro de 2020, disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-012-9277-8>
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Plano de Nacional de Energia 2030. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>. Acesso em: 08 de dezembro de 2020, disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>
- FAO, Food And Agriculture Organization of the United Nations (2015). Food wastage footprint & climate change. Rome. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-bb144e.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2020, disponível em: <http://www.fao.org/home/en>
- Ferreira, J. V. C., Morais, A. M. M., Costa, P. D., Cezar, M. R. S. (2015). Diagnóstico dos resíduos sólidos gerados pelas unidades alimentares do Campus Recife da UFPE, Encontro Pernambucado de Resíduos Sólidos. Recife, Pernambuco.
- Fernando, A., Lima, S. DO C. (2012). Caracterização dos resíduos sólidos urbanos do município de Maxixe/Moçambique. *Caminhos de Geografia*, **13**(42), 335-345. Acesso em 05 de janeiro de 2020, disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/17460>.
- Finnveden, G. (2005). Life cycle assessment of energy from solid waste — part 1: general methodology and results. *Journal of Cleaner Production*, **13**(3), 213-229. Acesso em 24 de agosto de 2020, disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/222545309\\_Life\\_Cycle\\_Assessment\\_of\\_Energy\\_From\\_Solid\\_Waste-Part\\_1\\_General\\_Methodology\\_and\\_Results](https://www.researchgate.net/publication/222545309_Life_Cycle_Assessment_of_Energy_From_Solid_Waste-Part_1_General_Methodology_and_Results).
- Girardi Neto, J., Silva, J. D., Pinheiro, I. G. (2017). Balanço de massa no tratamento de resíduos sólidos orgânicos provenientes de restaurantes em biorreator Mass balance in the treatment of organic wastes from restaurants in biorreactor, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **22**(3), 491–499. Acesso em: 10 de novembro de 2020, disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522017000300491](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522017000300491)
- Gou, C., Yang Z., Huang j., Wang, H., Xu, H., Wang, L. (2014). Effects of temperature and organic loading rate on the performance and microbial community of anaerobic codigestion of waste activated sludge and food waste. *Chemosphere*, **105**, 143-151. Acesso em: 02 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653514000848?via%3Dihub>
- Haider, M. R., Yousaf, S., Malik, r. n., Visvanathan, C. (2015). Effect of mixing ratio of food waste and rice husk co-digestion and substrate to inoculum ratio on biogas production. *Bioresourc Technology*, **190**, 451-457. Acesso em 05 de novembro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852415002916#!>
- Hassan, M., Ding, W., Umar, M., Rasool, G. (2017). Batch and semi-continuous anaerobic co-digestion of goose manure with alkali solubilized wheat straw: A case of carbon to nitrogen ratio and organic loading rate regression optimization. *Bioresourc Technology*, **230**, 24-32. Acesso em: 8 de setembro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417300457#!>
- Kafle, G. K., Kim, S. H. (2013). Effects of chemical compositions and ensiling on the biogas productivity and degradation rates of agricultural and food processing by-products. *Bioresourc Technology*, **142**, 553–561. Acesso em 19 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852413007785>
- Kabir, M. M., Forgács, G., Horváth, I. S. (2015). Biogas from lignocellulosic materials. lignocellulose-based bioproducts, 207 – 251, Acesso em 2 de outubro de 2020, disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-14033-9\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-14033-9_6)

- Kalrsson, T., Konrad, O., Lumi, M., Schmeier, N. P., Marder, M., Casaril, C. E., Koch, F. F., Pedroso, A. G. (2014). Manual Básico de Biogás. 1º Edição. Lajeado: UNIVATES.
- Kunz, A., Steinmetz, R. L. R., Amaral, A. C. (2019) *Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato*. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves. 209 pp.
- Li, Y., Jin, Y., Borrion, A., Li, H., Li, J. (2017). Effects of organic composition on mesophilic anaerobic digestion of food waste. *Bioresource Technology*, **244**(1), 213-224. Acesso em 10 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417310921>
- Li, Y., Zhang, R., He, Y., Zhang, C., Liu, X., Chen, C., Liu, G. (2014). Anaerobic co-digestion of chicken manure and corn stover in batch and continuously stirred tank reactor (CSTR). *Bioresour. Technol.*, **156**, 342-347. Acesso em: 5 de setembro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852414000790#!>
- Li, C., Mörtelmaier, C., Winter, J., Gallert, C. (2014). Effect of moisture of municipal biowaste on start-up and efficiency of mesophilic and thermophilic dry anaerobic digestion, *Bioresource Technology*, **168**, 23-32.
- Lin, J., Zuo, J., Gan, L., Li, P., Liu, F., Wang, K., Chen, L., Gan, H. (2011). Effects of mixture ratio on anaerobic co-digestion with fruit and vegetable waste and food waste of China. *Journal of Environmental Sciences*, **23**(8), 1403-1408. Acesso em 15 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074210605724>
- Lin L., Xu F., Ge X., Li Y. (2018). Improving the sustainability of organic waste management practices in the food-energy-water nexus: a comparative review of anaerobic digestion and composting. *Renew Sustain Energy*, **89**, 151-167.
- Liotta F., d'Antonio, G., Esposito, G., Fabbricino, M., Frunzo L., Hullebusch, E. D. V, Lens, P. N. L, Pirozzi, F. (2014). Effect of moisture on disintegration kinetics during anaerobic digestion of complex organic substrates. *Journal Indexing and Metrics*, **32**(1), 40-48.
- Lu, X., Jin, W., Xue, S., Wang, X. (2017). Effects of waste sources on performance of anaerobic codigestion of complex organic wastes: taking food waste as an example, *Scientific Reports*, **7**. Acesso em 5 de julho de 2020, disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-16068-z>
- Marañón, E., Castrillón, L., Quiroga, G., Fernández-Nava, Y., Gomez, L.Garcia, M. M. (2012). Co-digestion of cattle manure with food waste and sludge to increase biogas production, *Waste Manag.*, **32**, 1821-1825. Acesso em: 26 de setembro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X12002449#!>
- Mayer, M. C. (2013). *Estudo da influência de diferentes inóculos no tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos.*, Tese de mestrado, Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 70 pp.
- Mata-Alvarez, J. Desta, J., Romero-Güiza, M. S., Fonoll, X., Peces, M., Astals, S. (2014). A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **36**, 412-427. Acesso em 24 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114002664#!>.
- Manassero, M., Vanimpe, W. F., Bouazza, A. (1996) Waste disposal and containment . In: International Congress on Environmental Geotechnics, 2. Anais. Osaka, Japão: Balkema. 1425-1474.
- Peces, M, Astals, S., Mata-Alvarez, J. (2015). Effect of moisture on pretreatment efficiency for anaerobic digestion of lignocellulosic substrates. *Waste Management*, **46**, 189-196.
- Park, S., Li, Y.. (2012). Evaluation of methane production and macronutrient degradation in the anaerobic co-digestion of algae biomass residue and lipid waste. *Bioresour. Technol.*, **111**, 42-48.
- Riya, S. Influence of C/N Ratio on Performance and Microbial Community Structure of Dry-Thermophilic Anaerobic Co-Digestion of Swine Manure and Rice Straw. (2016). *Journal of medical and bioengineering*, **5**(1), 11-14. Acesso em 24 de setembro de 2020, disponível em: <http://www.jomb.org/uploadfile/2015/0601/20150601030829249.pdf>
- Ren, J., Yuan, X., Li, J., Ma, X., Zhao, Y., Zhu, W., Wang, X., Cui, Z. (2014). Performance and microbial community dynamics in a two-phase anaerobic co-digestion system using cassava dregs and pig manure. *Bioresour. Technol.*, **155**, 342-351. Acesso em: 4 de outubro de 2020, disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852413019603#!>

- Riggio, V., Comino, E., Rosso, M. (2015). Energy production from anaerobic co-digestion processing of cow slurry, olive pomace and apple pulp. *Renewable Energy*, **83**, 1043-1049. Acesso em 20 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148115300045>
- ROS, M., Oliveira Filho, J. S., Murcia, M. D. P., Bustamante, M. A., Moral, R., Coll, M. D., Santísima-Trinidad, A. B. L., Pascual, J. A. (2017). Mesophilic anaerobic digestion of pig slurry and fruit and vegetable waste: dissection of the microbial community structure. *J. Clean. Prod.*, **156**, 757-765. Acesso em: 8 de setembro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617308399#!>
- Santos, K. L., Panizzon, J., Cenci, M. M., Grabowski, G., Jahno, V. D. (2020). Food losses and waste: reflections on the current brazilian scenario. *Brazilian Journal of Food Technology*, **23**(13). Acesso em: 10 de outubro de 2020, disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1981-67232020000100300&tIng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-67232020000100300&tIng=pt)
- Sanaei, M. A., Aghel, H., Abbaspour-Fard, M. H., Aghkhani, M. H. Enhancement of Biogas Production by Co-digestion of Potato Pulp with Cow Manure in a CSTR System. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **173**(7). Acesso em 8 de janeiro de 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12010-014-0972-5>
- Sgorlon, J. G., Rizk, M. C., Bergamasco, R., Tavares, C. R. G. (2011). Avaliação da DQO e da relação C:N obtidas no tratamento anaeróbico de resíduos fruti-hortícolas. *Acta Scientiarum. Technology*, **33**(4), 421-424. Acesso em 9 de setembro de 2020, disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/8259>
- Schirmer, W. N., Crovador, M. I. C., Stemmler, A. S., Jucá, J. F. T. (2015). Avaliação da geração de gás sulfídrico no biogás gerado a partir de resíduos sólidos urbanos. *Ciência & Tecnologia: FATEC-JB*, **7**(1), 1-15. Acesso em: 3 de julho de 2020, disponível em: <https://citec.fatecjaboticabal.edu.br/index.php/citec/article/view/40>
- Souza, A. F., Oliveira, P. S. (2009). Caracterização dos resíduos sólidos urbanos no município de presidente Castelo Branco - PR. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, **2**(2), 93-100. Acesso em 5 de janeiro de 2020, disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/293726073\\_Characterization\\_of\\_urban\\_solid\\_waste\\_in\\_the\\_city\\_of\\_presidente\\_castelo\\_branco\\_-\\_PR\\_Brazil](https://www.researchgate.net/publication/293726073_Characterization_of_urban_solid_waste_in_the_city_of_presidente_castelo_branco_-_PR_Brazil)
- Souza, G.C., Guadagnin, M.R. (2009). Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos sólidos domiciliares: o método de quarteamento na definição da composição gravimétrica em Cocal do Sul-SC, Seminário Regional Sul de Resíduos Sólidos, Caxias do Sul. *gasques*
- Shahbaz, M., Ammar, M., Zou, D., Korai, R., M., Li, X. (2018). An insight into the anaerobic co-digestion of municipal solid waste and food waste: influence of cosubstrate mixture ratio and substrate to inoculum ratio on biogas production. *Appl. Biochem. Biotechnol*, **187**, 1356-1370. Acesso em 17 de setembro de 2020, disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30229435>
- Siddiqui, Z., Horan, N. J., Kofi, A. (2011) Optimisation of C/N Ratio for Co-Digested Processed Industrial Food Waste and Sewage Sludge Using the BMP Test. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, **9**(1), 1-9. Acesso em: 14 de outubro de 2020, disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/233390360\\_Optimisation\\_of\\_CN\\_Ratio\\_for\\_Co-Digested\\_Processed\\_Industrial\\_Food\\_Waste\\_and\\_Sewage\\_Sludge\\_Using\\_the\\_BMP\\_Test](https://www.researchgate.net/publication/233390360_Optimisation_of_CN_Ratio_for_Co-Digested_Processed_Industrial_Food_Waste_and_Sewage_Sludge_Using_the_BMP_Test)
- Shi, J., Wang, Z., Stiversson, J. A., Yu, Z., Li, Y. (2013). Reactor performance and microbial community dynamics during solid-state anaerobic digestion of corn stover at mesophilic and thermophilic conditions. *Biore source Technology*, **136**. Acesso em: 5 de agosto de 2020, disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23567733/>.
- Sun, Y., Wang, D., Yan, J., Qiao, W., Wang, W., Zhu, T. (2014). Effects of lipid concentration on anaerobic co-digestion of municipal biomass wastes. *Waste Manage*, **34**(6), 1025-1034. Acesso em: 3 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X13003462#!>
- Siddiqui, Z., Horan, N. J., Anaman, K. Optimisation of C:N Ratio for Co-Digested Processed Industrial Food Waste and Sewage Sludge Using the BMP Test. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, **9**(1). Acesso em 8 de janeiro de 2021, disponível em: <https://www.degruyter.com/view/journals/ijcre/9/1/article-1542-6580.2327.xml.xml>
- Taborda, L.W., Jahn, S. L., Lovato, A., Evangelista, M. L. S. (2015). Avaliação da viabilidade técnica e econômica da produção de etanol em planta piloto de batata-doce. *Custos e agronegócio*, **11**(1). Acesso em 12 de julho de 2020, disponível em: <http://docplayer.com.br/14835166-Avaliacao-da-viabilidade-tecnica-e-economica-da-producao-de-etanol-em-planta-piloto-a-partir-da-batata-doce-ipomoea-batatas.html>

- Tanimu, M. I., Mohd, T. L., Harun, G. R. M. (2014). Effect of Carbon to Nitrogen Ratio of Food Waste on Biogas Methane Production in a Batch Mesophilic Anaerobic Digester. *Management and Technology*, **5**(2), 116-119. Acesso em: 5 de agosto de 2020, disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/263973768\\_Effect\\_of\\_Carbon\\_to\\_Nitrogen\\_Ratio\\_of\\_Food\\_Waste\\_on\\_Biogas\\_Methane\\_Production\\_in\\_a\\_Batch\\_Mesophilic\\_Ananaerobic\\_Digester](https://www.researchgate.net/publication/263973768_Effect_of_Carbon_to_Nitrogen_Ratio_of_Food_Waste_on_Biogas_Methane_Production_in_a_Batch_Mesophilic_Ananaerobic_Digester)
- Villa, L. M. (2018). *Co-digestão anaeróbia de esterco de suíno com batata-doce ou mandioca em diferentes relações C/N*. Tese de mestrado, Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 78 pp.
- Veluchamy, C., Kalamdhad, A. S. (2017). A mass diffusion model on the effect of moisture content for solid-state anaerobic digestion. *Journal of Cleaner Production*, **162**, 371-379.
- Wang, X., Li, Z., Zhou, X., Wang, Q., Wu, Q., Saino, M., Bai, X. (2016). Study on the biomethane yield and microbial community structure in enzyme enhanced anaerobic codigestion of cow manure and corn straw. *Bioresour. Technol*, **219**, 150-157. Acesso de 16 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852416310951>
- Wang, X., Yang, G., Feng, Y., Ren, G., Han, X. (2012). Optimizing feeding composition and carbon–nitrogen ratios for improved methane yield during anaerobic co-digestion of dairy, chicken manure and wheat straw. *Bioresource Technology*, **120**, 78-83. Acesso em 11 de julho de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852412009625#!>
- Wang, M., Li, W., Li, P., Yan, S., Zhang, Y. (2017). An alternative parameter to characterize biogas materials : Available carbon-nitrogen ratio. *Waste Management*, **62**, 76–83. Acesso em: 19 de setembro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X17301034>
- Wang, X., Lu, X., Li, F., Yang, G. (2014). Effects of Temperature and Carbon-Nitrogen (C:N) Ratio on the Performance of Anaerobic Co-Digestion of Dairy Manure, Chicken Manure and Rice Straw: Focusing on Ammonia Inhibition. *Plos one*, **9**(5). Acesso em: 6 de julho de 2020, disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0097265>
- Wang, S. (2013). Biogas production and microbial community change during the Co-digestion of food waste with chinese silver grass in a single-stage anaerobic reactor. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, **18**, 1022–1030. Acesso em 5 de agosto de 2020, disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12257-013-0128-4>
- Yong, Z., Dong, Y., Zhang, X., Tan, T. (2015). Co-digestão anaeróbica de resíduos alimentares e palha para produção de biogás. *Energia Renovável*, **78**, 527-530. Acesso em: 2 de janeiro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148115000518>
- Zhang, C., Su, H., Tan, T. (2013) Batch and semi-continuous anaerobic digestion of food waste in a dual solid–liquid system. *Bioresource Technology*, **145**, 10-16. Acesso em 13 de agosto de 2020, disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23561948>
- Zhou S, Nikolausz M, Zhang J, Riya S, Terada A, Hosomi M. (2016). Variation of the microbial community in thermophilic anaerobic digestion of pig manure mixed with different ratios of rice straw. *J. Biosci. Bioeng*, **122**(3), 334-340. Acesso em: 10 de setembro de 2020, disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27072299>
- Xue, S., Wang, Y., Lyu, Zhao, N., Song, J., Wang, J., Yang, G. (2020). Interactive Effects of Carbohydrate, Lipid, Protein Composition and Carbon/Nitrogen Ratio on biogas production of different food wastes, 312. Acesso em: 8 de novembro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852420308385>
- Zago, V. C. O., Barros, R. T. V. (2019). Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **24**(2), 219-228. Acesso em 26 de setembro de 2020, disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1413-41522019000200219&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1413-41522019000200219&lng=en&nrm=iso&tlng=pt)
- Zambon, M., Luna, M. M. M. (2018). Resíduos orgânicos urbanos: um olhar sobre Florianópolis, Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. São Paulo.

- Zanetti, A., Arrieche, L. S., Sartori, D. J. M. (2014). Estudo da composição ótima de diferentes resíduos orgânicos para a produção de biogás, Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis.
- Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., Tan, T. (2014). Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **38**, 383-392. Acesso em 26 de setembro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114003633#!>
- Zheng, Z. (2015). Effect of dairy manure to switchgrass co-digestion ratio on methane production and the bacterial community in batch anaerobic digestion, AX., *Applied Energy*, **151**, 249-257. Acesso em: 15 de agosto de 2020, disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/277951019\\_Effect\\_of\\_dairy\\_manure\\_to\\_switchgrass\\_co-digestion\\_ratio\\_on\\_methane\\_production\\_and\\_the\\_bacterial\\_community\\_in\\_batch\\_anaerobic\\_digestion](https://www.researchgate.net/publication/277951019_Effect_of_dairy_manure_to_switchgrass_co-digestion_ratio_on_methane_production_and_the_bacterial_community_in_batch_anaerobic_digestion)
- Zeshan, O. P., Karthikeyan, C. V. (2012). Effect of C/N ratio and ammonia-N accumulation in a pilot-scale thermophilic dry anaerobic digester. *Bioresource Technology*, **113**, 294-302. Acesso em 10 de agosto de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096085241200257X>
- Zihan, Y., Dong, Y., Zhang, X., Tan, T. (2015). Anaerobic co-digestion of food waste and straw for biogas production. *Renewable Energy*, **78**, 527-530. Acesso em 48 de outubro de 2020, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148115000518#!>