

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



A Engenharia Mecânica e os Sistemas Sustentáveis de Energia Não Convencionais

Engenharia Mecânica na Conversão de Biomassa em Biocombustíveis



Projeto FEUP 2024/25 - L.EM

Coordenação

Geral: Manuel Firmino e Sara Ferreira

De curso: Prof. Teresa Duarte

Equipa 1L.EM01_3

Supervisor: Prof. Teresa Duarte

Monitor: Manuel Rodrigues

Estudantes & Autores

Afonso Maia up202405670@up.pt

Lucas Fonseca up202405615@up.pt

Gabriel Remelhe up202404809@up.pt

Mariana Romão up202404619@up.pt

Tiago Gaspar up202405409@up.pt

28 de Outubro de 2024

Resumo

Este relatório foi realizado no âmbito da unidade curricular Projeto FEUP, tendo como objetivo principal desenvolver o tema do uso da Engenharia Mecânica em sistemas sustentáveis de energia não convencionais.

A partir deste tema, é abordado o uso desta engenharia na conversão de biomassa em biocombustíveis, tendo igualmente sido explorado todo o processo por detrás desta fonte de energia, bem como a sua eficiência no objetivo proposto. Para além disso, são referidos os diferentes produtos obtidos por meio dos mesmos processos e as vantagens e desvantagens da sua utilização.

Por fim, discutimos neste relatório os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, falando do efeito destes processos tendo em conta os objetivos estabelecidos.

Palavras-Chave: Engenharia Mecânica, Biomassa, Biocombustível, Sustentabilidade, Energia

Agradecimentos

Toda a equipa deve um enorme agradecimento a todas as pessoas que nos ajudaram e colaboraram de forma a concluirmos com sucesso este trabalho de pesquisa. No entanto, este agradecimento é especialmente dirigido à supervisora Prof. Teresa Duarte e ao monitor Manuel Rodrigues que foram sempre tão atenciosos e preocupados em nos esclarecer todas as dúvidas que tivemos ao longo das semanas de trabalho. Para além disso, gostaríamos também de agradecer à equipa responsável pelas atividades de Projeto FEUP ao longo da primeira semana de aulas, já que foram muito úteis para a pesquisa para este relatório.

Índice

Lista de Figuras	5
Lista de Tabelas	6
Lista de Acrónimos	7
1. Introdução.....	8
1.1 Motivação e objetivo.....	8
1.2 A Engenharia Mecânica e a Sua Relevância Neste Tema.....	8
2. A Biomassa e os Biocombustíveis	9
2.1 Definição	9
2.1.1 Biocombustíveis Primários.....	9
2.1.2 Biocombustíveis Secundários	9
2.2. Combustíveis Fósseis vs. Biocombustíveis	10
2.3 Tipos de Biocombustíveis.....	11
2.3.1 Bioetanol.....	11
2.3.2 Biodiesel	11
2.4 Aplicações Práticas	12
2.4.1 Bioetanol.....	12
2.4.2 Biodiesel	12
3. Processamento e desenvolvimento dos reatores.....	14
3.1 Pirólise	15
3.1.1 Definição.....	15
3.1.2 Etapas	15
3.1.3 Categorias	16
3.1.4 Reatores	16
3.2 Gaseificação	17
3.2.1 Definição.....	17
3.2.2 Syngas.....	18
3.2.2 Utilizações e vantagens	18
3.2.3 Reatores	19

4. Vantagens e Desvantagens	20
4.1 Vantagens	20
4.2 Desvantagens	20
4.2.1 Manuseamento e processamento da biomassa	21
4.2.2 Desgaste e corrosão dos materiais	21
4.2.3 Manutenção da eficiência térmica	22
4.3 Sustentabilidade	22
5. Conclusões	24
Referências bibliográficas	25

Lista de Figuras

Figura 1 - "Classificação dos biocombustíveis com base na matéria-prima de origem" (ERSE 2021).....	10
Figura 2 - Agulheta de combustível E10 (Chris Bentley 2023).	12
Figura 3 - Autocarro da CARRIS movido a biodiesel (LUSA 2019).	13
Figura 4 - “Exemplos de reatores usados na pirólise” (Tang, et al. 2022).	17
Figura 5 - Processo de gaseificação (U.S. Department of Energy 2017).	18

Lista de Tabelas

Tabela 1 - “Exemplos de processos de conversão de biomassa” (Bart, Palmeri e Cavallaro 2010).	14
---	----

Lista de Acrónimos

CO - Monóxido de carbono

CO₂ - Dióxido de carbono

CH₄ - Metano

H₂ - Hidrogénio molecular

OAU - Óleos alimentares usados

1. Introdução

1.1 Motivação e objetivo

A elaboração deste projeto surge no âmbito da unidade curricular Projeto FEUP, desenvolvida pelos alunos da turma 1, equipa 3, do 1º ano da Licenciatura em Engenharia Mecânica pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O objetivo deste relatório é dar a conhecer as formas como a Engenharia Mecânica se relaciona com os sistemas sustentáveis de energia não convencionais, mais especificamente a biomassa e biocombustíveis, sublinhando as suas vantagens e desvantagens.

É importante também referir a necessidade dos sistemas sustentáveis de energia, que se deve à eventualidade do esgotamento dos recursos naturais que usamos mais frequentemente para a produção de eletricidade, como o carvão e gás natural, ambos recursos finitos que em 2022 originaram mais de 50% da eletricidade produzida no mundo (Ember Climate 2022). Com isto em mente, torna-se claro o motivo para a necessidade de procura de métodos sustentáveis de produção de energia.

1.2 A Engenharia Mecânica e a Sua Relevância Neste Tema

A Engenharia Mecânica é uma área profissional baseada nas aplicações de conhecimentos bastante abrangentes em situações de natureza económica, social, ética e ambiental, como, por exemplo, a conceção, o projeto, o fabrico, o controlo e a gestão de produtos (Universidade de Lisboa 2020).

Esta engenharia é uma parte importante deste tema, pois permite-nos observar o comportamento das máquinas e processos utilizados para a transformação de biomassa em biocombustível, contribuindo para a sua análise, melhoramento e até criação de novas estratégias e equipamentos.

2. A Biomassa e os Biocombustíveis

2.1 Definição

A biomassa é uma matéria orgânica de origem vegetal ou animal, por outras palavras, a fração biodegradável dos produtos, resíduos e substâncias de origem florestal, industrial, agrícola e pecuária, que através de processos de transformação dá origem a biocombustíveis (ERSE 2021).

Os biocombustíveis são combustíveis líquidos para transportes resultantes da reciclagem de óleos, gorduras animais, tratamento de resíduos e esgotos e culturas energéticas (ERSE 2021).

Como visto na Figura 1, estes dividem-se em biocombustíveis primários e secundários.

2.1.1 Biocombustíveis Primários

Os biocombustíveis primários são utilizados na sua forma natural, por exemplo, em sistemas de aquecimento, confeção de alimentos e produção de eletricidade. Neste caso, temos como exemplo a madeira e os excrementos de animais (ERSE 2021).

2.1.2 Biocombustíveis Secundários

Os biocombustíveis secundários são produzidos através da conversão da biomassa recorrendo a tecnologias e divididos em quatro gerações. A primeira é também conhecida como biocombustíveis convencionais, que são produzidos através de culturas agrícolas, como a de cereais; a segunda, ou os biocombustíveis residuais, pertence ao grupo dos biocombustíveis avançados, tal como a terceira e a quarta que são produzidas respetivamente através de culturas não alimentares e lixo municipal, algas e culturas modificadas geneticamente (ERSE 2021).



Figura 1 - "Classificação dos biocombustíveis com base na matéria-prima de origem" (ERSE 2021).

2.2. Combustíveis Fósseis vs. Biocombustíveis

Comparando os combustíveis fósseis com os biocombustíveis, percebemos que enquanto os combustíveis fósseis são recursos não renováveis, que criam um grande impacto ambiental, desde a sua emissão de grandes quantidades de gases de efeito de estufa, à sua extração que também causa danos ambientais substanciais, os biocombustíveis são recursos renováveis e que emitem menos gases poluentes, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito de estufa, embora isso varie dependendo do tipo de biocombustível utilizado e o seu método de produção. Em termos de desempenho, os combustíveis fósseis oferecem uma maior quantidade de energia produzida; apesar disso, os avanços tecnológicos estão a melhorar a quantidade de energia que os biocombustíveis conseguem produzir. Em termos de custos e sustentabilidade, os combustíveis fósseis estão sujeitos às flutuações do mercado mundial e ao declínio das suas reservas, contribuindo para a dependência energética dos países, ao contrário dos biocombustíveis, que podem oferecer um custo-benefício melhor a longo prazo e oferecem uma maior segurança energética (ERSE 2021).

2.3 Tipos de Biocombustíveis

Alguns exemplos de biocombustíveis são o bioetanol e o biodiesel.

2.3.1 Bioetanol

O bioetanol é um tipo de álcool normalmente produzido através da biomassa proveniente da cana-de-açúcar, milho, beterraba, batata, entre outros (Repsol 2024).

É normalmente usado como um aditivo para gasolina; no entanto, motores capazes de usar como combustível etanol puro já estão disponíveis, e são cada vez mais comuns.

O etanol contém cerca de menos 30% de energia por volume, quando comparado com a gasolina, logo é menos eficiente; no entanto, como é um tipo de combustível com mais octanos, é capaz de gerar mais potência e performance no geral (U.S. Department of Energy 2024).

2.3.2 Biodiesel

O biodiesel é um combustível pensado para substituir o gasóleo (ou diesel), pois tem propriedades semelhantes a este. Normalmente é utilizado como aditivo do diesel, sendo obtido a partir de resíduos florestais, urbanos, industriais e majoritariamente a partir de óleos vegetais (PRIO 2024).

Em comparação, o biodiesel tem a vantagem de emitir uma menor quantidade de gases de estufa, mas a desvantagem de ter um poder calorífico inferior ao diesel.

2.4 Aplicações Práticas

2.4.1 Bioetanol

O bioetanol é usado frequentemente como aditivo na gasolina nas mais diversas proporções. Um combustível que seja 90% gasolina, 10% etanol chama-se E10 (Figura 2), podendo variar entre os mais diversos rácios de etanol para gasolina.



Figura 2 - Agulheta de combustível E10 (Chris Bentley 2023).

Várias competições automobilísticas obrigam os participantes a usar combustíveis com as mais diversas misturas de etanol, como por exemplo a *Stock Car Pro Series* (Brasil) e a *Indycar*, que usam etanol puro (Alan Magalhães 2021) (Barnes, Joey 2023).

2.4.2 Biodiesel

Ao ver este biocombustível como uma solução promissora, acabou por ser adotado em várias misturas, como o B5 (5% biodiesel e 95% diesel) e o B20 (20% biodiesel e 80% diesel). Com o biodiesel a ganhar mais reconhecimento, foram criados projetos para utilizar o combustível B100 (100% biodiesel).

Um desses projetos está a ser desenvolvido em Lisboa e intitula-se “Movido a Biodiesel” (Figura 3). Esta é uma iniciativa que junta a CARRIS e a PRIO num investimento para um futuro mais verde.

Este projeto consiste na substituição do diesel pelo biodiesel, tendo sido implementado em 6 autocarros da CARRIS que percorrem a carreira 702 (Marquês de Pombal – Bairro da

Serafina) todos os dias. O biodiesel utilizado nestes autocarros é 100% livre de energia fóssil e é produzido na fábrica da PRIO a partir de óleos alimentares usados (PRIO 2024).



Figura 3 - Autocarro da CARRIS movido a biodiesel (LUSA 2019).

Estes óleos alimentares usados (OAU) são recolhidos em diversos locais, passando por um processo de filtragem e purificação. O óleo purificado é submetido a um processo químico chamado transesterificação, em que o óleo vegetal reage com um álcool (normalmente metanol) na presença de um catalisador, gerando biodiesel e glicerina como subproduto (Farouk 2024). Assim, ao utilizar os OAU como matéria-prima, a produção de biodiesel da PRIO é um exemplo de economia circular, onde resíduos alimentares são convertidos em combustíveis limpos.

Os resultados obtidos foram impressionantes, tendo havido uma redução de 83% nas emissões de gases de efeito de estufa causadas pelos combustíveis fósseis (PRIO 2024) e uma diminuição de 500 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) emitido (PRIO 2024).

O sucesso alcançado neste projeto permitiu uma expansão do uso do combustível B100, passando também a ser usado na carreira 794.

A Engenharia Mecânica tem um papel crucial no desenvolvimento de reatores de transesterificação, otimizados para maximizar a eficiência da produção de biodiesel. Além disso, envolve o design de motores capazes de operar com misturas mais elevadas de biodiesel ou até mesmo com 100% de biodiesel. A engenharia também é essencial para projetar e manter sistemas de armazenamento, transporte e distribuição deste combustível renovável.

3. Processamento e desenvolvimento dos reatores

A produção de biocombustíveis é um dos campos mais estudados no setor energético, já que é uma possível alternativa de energia que aproxima a indústria energética da sustentabilidade. No entanto, esta área está sempre em constante inovação e vão surgindo novos métodos para a concretização do processamento da biomassa. (Lalit Kumar e Gaurav 2017) Assim, podemos encontrar muitos processos diferentes que, tendo cada um as suas características específicas, resultam em produtos distintos, tal como podemos verificar pela tabela abaixo.

Tabela 1 - “Exemplos de processos de conversão de biomassa” (Bart, Palmeri e Cavallaro 2010).

Processo	Principais produtos
Combustão	Calor, CO ₂ , H ₂ O
Termólise (723-1073 K)	Char, óleo, gases
Pirólise (1773 K)	Gases (C ₂ H ₂), char
Gaseificação (923-1473 K)	CO, H ₂ , CO ₂ , CH ₄
Hidrotermólise (523-873 K)	Óleo, char, gases (CO ₂)
Fermentação	Etanol, CO ₂
Digestão anaeróbica	CH ₄ , H ₂ O
Digestão aeróbica	CO ₂ , H ₂ O, calor
Extração	Óleo vegetal

De todos os métodos presentes na tabela 1, aqueles mais relevantes são a pirólise e a gaseificação, os quais serão abordados mais detalhadamente neste relatório.

3.1 Pirólise

Neste subcapítulo irá ser abordada a definição de pirólise, assim como os diferentes tipos deste processo, e os alguns dos reatores usados para os mesmos.

3.1.1 Definição

A pirólise é uma tecnologia de conversão termoquímica em que a biomassa é aquecida a altas temperaturas, resultando em três produtos diferentes: biocarvão, bio-óleo e gás. Além de ser eficiente, a pirólise gera múltiplos produtos em comparação com outros processos de conversão termoquímica.

No processo de pirólise, o material orgânico é termicamente decomposto em um ambiente com baixo teor de oxigénio. É um processo complexo, com diversas reações que acontecem na zona de reação.

A biomassa contém três constituintes principais: hemicelulose, celulose e lignina. Quando a biomassa é aquecida, as moléculas de hemicelulose e celulose são destruídas, havendo a libertação de matéria volátil e produção de bio-óleo por condensação. O aquecimento da biomassa em um ambiente com pouco oxigénio aumenta a temperatura além do limite de estabilidade térmica, resultando num produto sólido mais estável, o biocarvão (Verma 2022).

3.1.2 Etapas

O processo de pirólise é composto por duas etapas: a pirólise primária e a pirólise secundária. Na pirólise primária, o calor faz com que as moléculas da biomassa sejam desfeitas e se volatilizem, formando diversos grupos funcionais, tais como o hidroxilo, o carboxilo e o carbonilo. A desvolatilização ocorre por meio da desidratação da biomassa, seguida de descarboxilação e desidrogenação. A pirólise secundária começa após a conclusão da pirólise primária, na qual os hidrocarbonetos pesados decompõem-se em gases condensáveis (bio-óleo) e não condensáveis (CO , CO_2 , H_2 e CH_4). A quebra dos compostos de hidrocarbonetos pesados origina os gases não condensáveis, uma mistura de gases condensáveis e, por fim, o rendimento de biocarvão (Verma 2022).

3.1.3 Categorias

Os parâmetros do processo ajudam a classificar a pirólise em quatro categorias: lenta, rápida, flash e intermediária, sendo a rápida a mais importante. Cada tipo tem os seus próprios benefícios e desvantagens, sendo diferenciados pelas características e condições operacionais.

- A pirólise lenta é tradicionalmente usada para produzir carvão, caracterizada por uma taxa de aquecimento moderada e um longo tempo de residência (acima de 60 minutos), com temperatura entre 400 e 600 °C. Esse processo favorece a produção de biocarvão com uma pequena quantidade de bio-óleo condensado e gases não condensáveis, como CO₂, CO e CH₄ (Verma 2022).
- A pirólise rápida, por outro lado, é voltada principalmente para a produção de bio-óleo (com rendimento superior a 50%), com menor produção de biocarvão e gás. Ela ocorre em temperaturas mais elevadas, entre 850 e 1200 °C, e com uma taxa de aquecimento muito mais alta e um tempo de residência inferior a 10 segundos. No entanto, o bio-óleo gerado é corrosivo e contém alta fração de água, o que reduz o seu valor energético, sendo necessário um processo de melhoria antes de sua utilização (Verma 2022).
- A pirólise flash é uma variante modificada da pirólise rápida, com uma taxa de aquecimento superior a 1000 °C/min e um tempo de residência muito curto, de 1 a 10 segundos. Este processo procura obter um alto rendimento de bio-óleo, com menor fração de água e maior eficiência de conversão da biomassa (Verma 2022).
- A pirólise intermediária é realizada para equilibrar o rendimento entre biocarvão, bio-óleo e gás, com temperaturas entre 400 e 650 °C e tempo de residência de 15 a 20 minutos. As suas condições operacionais permitem a produção de bio-óleo de melhor qualidade e biocarvão seco, adequado para uso na melhoria do solo e produção de bioenergia (Verma 2022).

3.1.4 Reatores

Os reatores mais usados para este processo são os chamados “*fixed bed reactor*” e “*fluidized bed reactor*” (Figura 4).

O primeiro consiste numa coluna cilíndrica preenchida com *pellets* de catalisador que permitem que óleos e álcool fluam através da coluna e se transformem em biodiesel. São utilizados catalisadores heterogêneos, logo não é necessário nenhum método de separação

entre catalisador e produto (Brahma, et al. 2022).

O segundo é uma combinação das duas configurações mais comuns, reatores de tanque agitado (*“stirred tank”*) e reatores de fluxo contínuo de leito empacotado (*“packed bed continuous flow”*). Possui excelentes características de transferência de calor e massa.

Por dentro do reator, as células estão ligadas a sólidos na forma de biofilme ou grânulos. Devido à força de arrasto do fluxo ascendente de águas residuais, elas podem ser mantidas em suspensão. Isto aumenta a sua atividade catalítica e sabe-se que causam taxas de degradação mais elevadas de resíduos orgânicos (Larroche, et al. 2019).

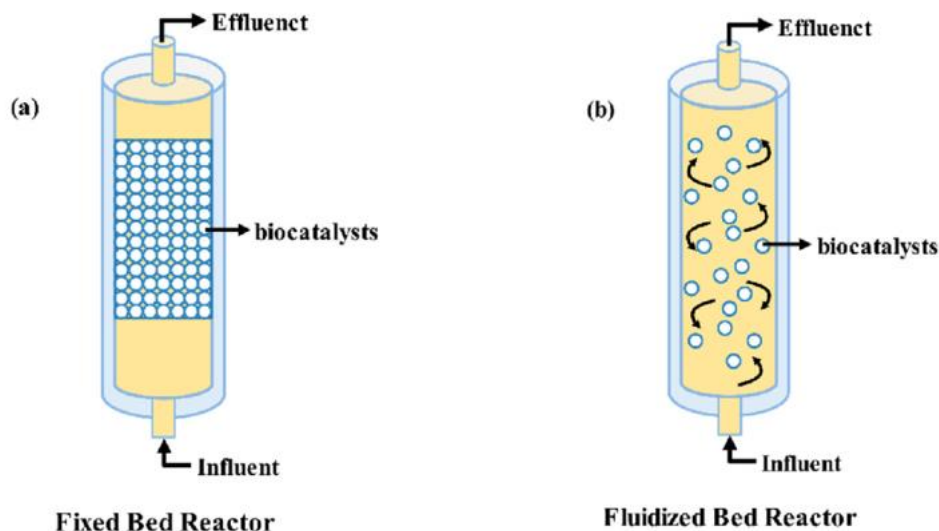


Figura 4 - “Exemplos de reatores usados na pirólise” (Tang, et al. 2022).

Por último, estes reatores oferecem um bom controle de temperatura por todo o reator, o que torna o processo o mais eficiente possível, resultando em bio-óleo de alta qualidade para ser utilizado nas situações que forem precisas.

3.2 Gaseificação

Neste subcapítulo, será realizada uma breve explicação deste outro processo usado para converter biomassa em energia renovável. Para além disso, também serão esclarecidas algumas vantagens do mesmo.

3.2.1 Definição

A gaseificação (Figura 5) é um processo tecnológico que permite converter qualquer

material carbonáceo, como o carvão, em gás combustível, também conhecido como gás de síntese (ou *syngas*). Este processo ocorre num gaseificador, geralmente um recipiente de alta temperatura (entre os 800 e os 1000 °C) (Larroche, et al. 2019) e pressão, onde o oxigénio e vapor de água entram em contacto direto com o carvão ou outro material, desencadeando uma série de reações químicas que convertem o material em *syngas* e resíduos minerais.

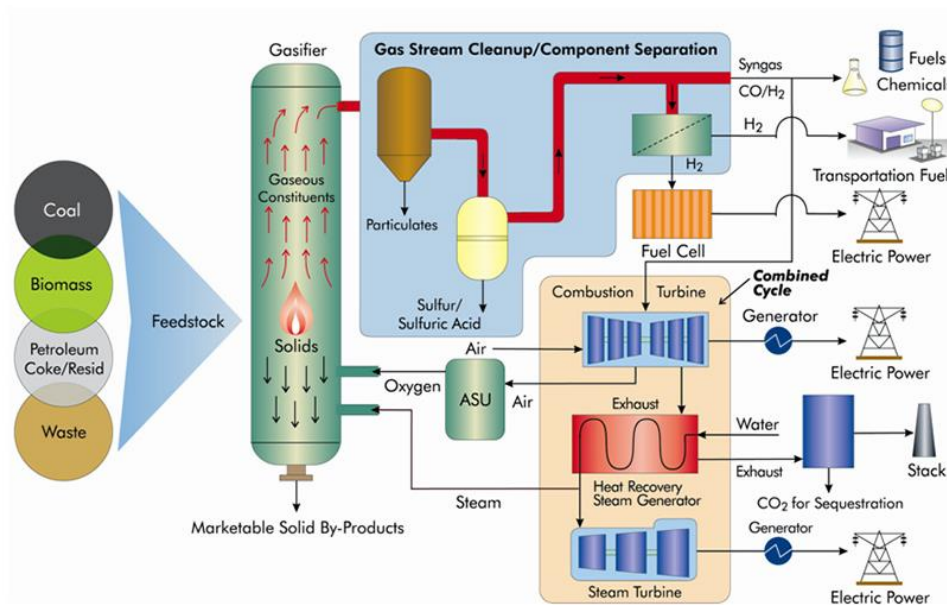


Figura 5 - Processo de gaseificação (U.S. Department of Energy 2017).

3.2.2 Syngas

O *syngas*, composto principalmente por monóxido de carbono (CO) e hidrogénio (H₂), tem este nome devido à sua função histórica como intermediário na produção de gás natural sintético. Este gás possui várias utilizações, podendo ser convertido em hidrogénio puro e dióxido de carbono (CO₂) através de uma reação com vapor de água num reator de deslocamento gás-água (*water-gas shift reactor*) (U.S. Department of Energy 2017).

3.2.2 Utilizações e vantagens

Quando o hidrogénio é queimado, gera apenas calor e água, permitindo a produção de eletricidade sem emissões de dióxido de carbono nos gases de escape. Além disso, o hidrogénio obtido a partir do carvão ou de outros combustíveis sólidos pode ser utilizado para

refinar petróleo, fabricar produtos como amônia e fertilizantes, ou, de forma ainda mais significativa, para produzir gasolina e diesel.

As centrais de poligeração, que produzem múltiplos produtos, são facilitadas pela tecnologia de gaseificação. O dióxido de carbono pode ser capturado de forma eficiente do syngas, evitando a sua emissão como gás com efeito de estufa e permitindo a sua utilização em processos como a recuperação melhorada de petróleo (Enhanced Oil Recovery) ou o seu armazenamento seguro.

A gaseificação oferece uma alternativa aos métodos tradicionais de conversão de matérias-primas, como carvão, biomassa e alguns fluxos de resíduos, em eletricidade e outros produtos úteis.

As vantagens da gaseificação em aplicações específicas, como a geração limpa de eletricidade a partir de carvão, podem torná-la uma parte cada vez mais importante dos mercados globais de energia e indústria. O preço estável e a abundância de carvão em várias partes do mundo tornam-no a principal matéria-prima para tecnologias de gaseificação no futuro (U.S. Department of Energy 2017).

3.2.3 Reatores

A nível de reatores, o processo de gaseificação utiliza também os “fixed bed and fluidized bed reactors”, dependendo da quantidade necessária para a aplicação desejada. Os primeiros são normalmente mais simples, fáceis de operar e de baixo custo e o gás produzido contém calor com baixo conteúdo. Os segundos têm uma performance mais alta, devido ao seu custo mais elevado e operação complexa, o que os torna bastante eficientes para a produção pretendida a partir da biomassa (Bakheet, et al. 2018).

4. Vantagens e Desvantagens

4.1 Vantagens

A produção de energia através da conversão de biomassa em biocombustíveis tem sido vista com uma solução atrativa na busca global por alternativas eficientes de produção de energia mais limpas e sustentáveis, devido aos seguintes fatores:

- A biomassa é considerada uma fonte de energia renovável, pois são utilizados materiais orgânicos, como plantas e resíduos de colheitas, que são repostos de forma natural num período relativamente curto, o que requer um uso sustentável destes recursos;

- Neutralidade carbónica, uma vez que o dióxido de carbono libertado para a atmosfera quando ocorre a combustão da biomassa é novamente absorvido pelo material orgânico através da fotossíntese, completando assim o ciclo do carbono. Deste modo, a produção de energia através da biomassa permite a redução da emissão de gases de efeito de estufa, em comparação com os combustíveis fósseis;

- Redução de resíduos orgânicos (florestais, agrícolas e urbanos) e o seu aproveitamento para a produção de energia, sendo por isso uma alternativa sustentável e eficiente de remoção de resíduos;

- Segurança energética, visto que a biomassa pode ser utilizada localmente para produzir energia, ao contrário dos combustíveis fósseis que dependem de cadeias de abastecimento globais. Isto reduz a dependência de fontes de energia importadas e ajuda a mitigar o impacto de acontecimentos geopolíticos no fornecimento de energia;

- Versatilidade: diferentes estados da biomassa e formas de aplicações (biomassa sólida, biocombustíveis líquidos, biogás e bioquímicos), permitindo a integração em vários setores, constituindo uma fonte de energia renovável flexível e adaptável às diferentes necessidades energéticas (George, Olly 2024).

4.2 Desvantagens

O processo de conversão de biomassa em biocombustíveis constitui um desafio para a Engenharia Mecânica, apresentando dificuldades nas diferentes etapas, desde o processamento da biomassa até à produção dos biocombustíveis, que afetam a eficiência, a durabilidade e a viabilidade económica associadas a este processo.

4.2.1 Manuseamento e processamento da biomassa

Devido à sua baixa densidade, o potencial energético da biomassa é reduzido, pelo que é necessário utilizar grandes quantidades de matéria para a produção de energia. Assim, são necessários sistemas de transporte especializados para conseguir transportar grandes volumes de biomassa (Balan 2014).

Uma das principais dificuldades mecânicas neste processo encontra-se na redução do volume da biomassa e na sua compactação, já que a matéria-prima tem de sofrer processos de trituração e corte para transformá-la em quantidades menores e haver um aproveitamento energético mais eficiente. Para além disso, os produtos da biomassa apresentam heterogeneidade no seu tamanho, pelo que as máquinas projetadas têm de apresentar robustez para pré-processar grandes quantidades de biomassa e com propriedades físicas distintas (Chung 2013).

4.2.2 Desgaste e corrosão dos materiais

A conversão de biomassa para produção de energia apresenta desafios mecânicos significativos relacionados ao desgaste e à corrosão dos materiais. Esses problemas decorrem principalmente na formação dos biocombustíveis e das condições severas presentes durante os processos de combustão.

No que toca ao desgaste, é possível verificar erosão e abrasão nos materiais responsáveis pelo processamento e combustão, ainda que menor do que na combustão do carvão, devido à dureza de certas partículas que levam ao desgaste de equipamentos como as caldeiras de combustão. Por outro lado, pode verificar-se deposição de cinzas e escória, pois os combustíveis de biomassa têm alto teor de cinzas e baixos pontos de fusão, o que pode levar à deposição de partículas como cinzas nas superfícies da caldeira. Isso não apenas reduz a eficiência da transferência de calor, mas também pode contribuir para processos de corrosão e erosão (M. L. Contreras 2022).

Para além disso, a corrosão química também é um problema comumente enfrentado devido ao facto de a biomassa conter altos níveis de cloro, metais alcalinos (potássio e sódio) e outros elementos corrosivos que são libertados aquando da combustão e que podem causar danos severos aos componentes da caldeira (M. L. Contreras 2022).

Assim, é crucial que os engenheiros mecânicos procedam a uma correta seleção de materiais para aumentar a eficiência dos sistemas de conversão de biomassa, tendo em conta que materiais tradicionais das caldeiras como o aço ou o carbono podem não resistir ao ambiente corrosivo, pelo que ligas metálicas mais resistentes, com maior teor de cromo e

níquel são frequentemente necessárias. Por sua vez, estas aumentam significativamente os custos e a sua eficácia varia dependendo do combustível de biomassa específico e das condições de operação (M. L. Contreras 2022) (Deepa Mudgal 2014).

4.2.3 Manutenção da eficiência térmica

O processo de conversão energética da biomassa está ligado a vários processos termoquímicos que envolvem o processamento da biomassa, pelo que a manutenção da eficiência térmica é fundamental para potencializar a eficiência da produção dos biocombustíveis.

Um dos principais desafios relacionados com este tema é a gestão térmica, ou seja, a transferência de calor e a recuperação de energia, sendo necessário:

- Projetar equipamentos eficazes, como caldeiras, motores de combustão e gaseificadores, que possam suportar altas temperaturas e resistir à incrustação por depósitos de cinzas e alcatrão;
- Otimizar a integração de sistemas de recuperação de calor para capturar e utilizar o calor residual dos processos de conversão;
- Desenvolver métodos eficientes para pré-aquecer matérias-primas e secar a biomassa húmida para melhorar o balanço energético geral (Schneider 2020).

4.3 Sustentabilidade

A transformação de biomassa em biocombustível pode contribuir para vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), sendo mais notória a sua presença, nos ODS 7, 9, 12, 13, 15 e 17.

No 7 (Energias Renováveis e Acessíveis), vemos a sua contribuição na utilização de resíduos orgânicos e biomassa residual em vez de combustíveis fósseis.

No 9 (Indústria, Inovação e Infraestruturas), os investimentos na pesquisa e no desenvolvimento promovem a inovação industrial, processamentos mais sustentáveis e economicamente viáveis.

No 12 (Produção e Consumo Sustentáveis), a utilização de resíduos agrícolas, florestais e urbanos promovem a economia circular, maximizando assim o uso dos produtos e promovendo padrões de consumo e produção mais sustentáveis.

No 13 (Ação Climática), sabemos que a utilização dos biocombustíveis reduz

significativamente as emissões de gases de estufa, tendo em consideração que a produção de biomassa não pode resultar nas danificações dos solos.

No 15 (Proteger a Vida Terrestre), sabemos que este processo tem de atender a critérios rigorosos que promovem práticas sustentáveis e que não comprometem a biodiversidade.

No 17 (Parcerias para a Implementação dos Objetivos), percebemos que a colaboração entre setores privados e públicos é fundamental para o desenvolvimento e implementação de tecnologias de biocombustíveis sustentáveis.

5. Conclusões

A utilização dos biocombustíveis tem evoluído nos últimos anos, motivada principalmente pelas preocupações com a sustentabilidade do ambiente e pela escassez do petróleo.

Este tipo de combustível mostrou ser uma opção bastante vantajosa em questão da sua contribuição para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a mitigação das mudanças climáticas; demonstrando também a sua capacidade de aproveitar resíduos industriais e agrícolas.

No entanto, há um desafio associado à produção em massa, já que a maior procura da matéria-prima iria causar uma sobrecarga sobre as terras agrícolas, comprometendo a fertilidade dos solos e a produção de alimentos.

Assim, podemos concluir que embora os biocombustíveis tenham apresentado bons resultados, ainda têm um longo caminho para poder substituir por completo os combustíveis fósseis.

Referências bibliográficas

- Alan Magalhães. *Mobilidade Estadão*. 5 de Maio de 2021. <https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-para-que/conheca-a-gasolina-da-stock-car/> (acedido em 11 de Outubro de 2024).
- Bakheet, Shaymaa, Salah Kamel, Hoda Abd El-Sattar, e Francisco Jurado. "2018 Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)." *"Different Biomass Gasification Reactors for Energy Applications"*, 2018.
- Balan, Venkatesh. *Current Challenges in Commercially Producing Biofuels from Lignocellulosic Biomass*, 4 de 05 de 2014.
- Barnes, Joey. *Indycar*. 27 de Fevereiro de 2023. <https://www.indycar.com/News/2023/02/02-27-Shell-Fuel> (acedido em 11 de Outubro de 2024).
- Bart, Jan C. J., Natale Palmeri, e Stefano Cavallaro. *"Biodiesel Science and Technology - From Soil to Oil"*. Woodhead Publishing, 2010.
- Brahma, Sujata, et al. "'Chemical Engineering Journal Advances'." *"Biodiesel production from mixed oils: A sustainable approach towards"*, 9 de Março de 2022: 31.
- Chris Bentley. *MGOC Spares*. 12 de Maio de 2023. <https://www.mgocspares.co.uk/blog/1216/using-ethanol-blended-petrol-in-your-classic-car> (acedido em 14 de Outubro de 2024).
- Chung, Jacob N. *Grand challenges in bioenergy and biofuel research: engineering and technology development, environmental impact, and sustainability*, 30 de 09 de 2013.
- Crocker, Mark. *"Thermochemical Conversion of Biomass to Liquid Fuels and Chemicals"*. Royal Society of Chemistry (RSC), 2010.
- Deepa Mudgal, Surendra Singh, Satya Prakash. *Corrosion Problems in Incinerators and Biomass-Fuel-Fired Boilers*, 12 de 05 de 2014.
- Ember Climate. 22 de Fevereiro de 2022. <https://ember-climate.org/data/data-tools/data-explorer/> (acedido em 11 de Outubro de 2024).
- ERSE. "Análise do Mercado de Biocombustíveis 2018 - 2020." Lisboa, 2021.
- Farouk, S. M., Tayeb, A. M., Abdel-Hamid, S. M. S., & et al. "Recent advances in transesterification for sustainable biodiesel production, challenges, and prospects: A comprehensive review." *Environmental Science and Pollution Research*, 2024.
- George, Olly. *CZ Advise*. 12 de Março de 2024. <https://www.czadvise.com/pt/energia-de-biomassa-explicada-vantagens-e-desvantagens/> (acedido em 11 de 10 de 2024).
- Lalit Kumar, Singh, e Chaudhary Gaurav. *"Advances in Biofeedstocks and Biofuels, Volume 1 - Biofeedstocks and Their Processing"*. John Wiley & Sons, 2017.
- Larroche, Christian, Patrick C. Hallenbeck, Jo-Shu Chang, S. Venkata Mohan, e Ashok

- Pandey. *"Biohydrogen - A volume in Biomass, Biofuels, Biochemicals"*. Elsevier, 2019.
- Luque, Rafael, Carol Sze Ki Lin, Karen Wilson, e Chenyu Du. *"Handbook of Biofuels Production - Processes and Technologies (3rd Edition)"*. Elsevier, 2023.
- LUSA. *SIC Notícias*. 12 de Dezembro de 2019. <https://sicnoticias.pt/pais/2019-12-12-Carris-lanca-em-Lisboa-a-primeira-carreira-com-autocarros-a-biodiesel> (acedido em 14 de Outubro de 2024).
- M. L. Contreras, M. Benito & A. Bahillo. *Prediction of biomass corrosiveness over different coatings in fluidized bed combustion*, 18 de 10 de 2022: 699–718.
- Pandey, Ashok, Christian Larroche, Claude-Gilles Dussap, Edgard Gnansounou, Samir Kumar Khanal, e Steven Ricke. *"Biomass, Biofuels, Biochemicals - Biofuels - Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels (2nd Edition)"*. Elsevier, 2019.
- PRIO. *Biodiesel: o que é e quais as vantagens para o meio ambiente?* 2024. https://www.prio.pt/pt/biodiesel:-o-que-e-e-quais-as-vantagens-para-o-meio-ambiente_236.html?idb=504.
- . *PRIO*. 2024. https://www.prio.pt/pt/biodiesel-da-prio-e-o-que-faz-mover-a-carreira-702-da-carris_236.html?idb=283 (acedido em 11 de Outubro de 2024).
- . *PRIO*. 2024. <https://www.movidoabiodiesel.pt/> (acedido em 11 de Outubro de 2022).
- Repsol. 2024. <https://www.repsol.com/en/energy-and-the-future/sustainable-mobility/bioethanol/index.cshtml> (acedido em 11 de Outubro de 2024).
- Schneider, T. *A review of thermochemical biomass conversion combined with Stirling engines for the small-scale cogeneration of heat and power*, dezembro de 2020.
- Service, Agricultural Research. *U.S Department of Agriculture*. s.d. <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/wyndmoor-pa/eastern-regional-research-center/docs/biomass-pyrolysis-research-1/what-is-pyrolysis/> (acedido em 8 de Outubro de 2024).
- Tang, Yiyang, Danxia Liu, Xiaolong Yang, e Lin Zhang. *Research Gate*. Outubro de 2022. https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-fixed-bed-reactor-and-fluidized-bed-reactor-a-fixed-bed-reactor_fig4_364682343 (acedido em 14 de Outubro de 2024).
- U.S. Department of Energy. 2024. <https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol-fuel-basics> (acedido em 11 de Outubro de 2024).
- U.S. Department of Energy. *National Energy Technology Laboratory*. 2017. <https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasified/intro-to-gasification> (acedido em 8 de Outubro de 2024).
- Universidade de Lisboa. *Engenharia Mecânica*. 2020.

<https://www.ulisboa.pt/curso/licenciatura/engenharia-mecanica> (acedido em 10 de 10 de 2024).

Verma, Pradeep. *"Thermochemical and Catalytic Conversion Technologies for Future Biorefineries, Volume 1"*. Springer Nature, 2022.