



Avaliação Bibliométrica do Uso de Biomassa Florestal para Fins Energéticos

Camila de Castro Hissi

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Gestão de Recursos Florestais

Orientado por

João Carlos Martins Azevedo

Esta dissertação inclui as críticas e sugestões feitas pelo Júri

Bragança

2021

AGRADECIMENTOS

Mais desafiador do que desenvolver uma Tese de mestrado, é utilizar poucas páginas para agradecer aquelas pessoas que contribuíram e contribuem com a minha trajetória.

Primeiramente agradeço ao meu orientador João Carlos Martins Azevedo que aceitou de imediato o meu convite ao desenvolvimento deste trabalho. Sempre dedicado, paciente, humilde e solícito em suas ações.

Em segundo a Instituto Politécnico de Bragança por me permitir fazer parte desta instituição e ter acesso ao conhecimento.

Aos meus pais Maria Helena Hissi e José Guilherme Bouhid, personalidades de fundamental importância na minha vida, que sempre dedicaram-se arduamente em seus trabalhos para me proporcionar o estudo e qualidade de vida. Sempre me incentivando a seguir meus sonhos e ser feliz.

Aos meus irmãos Gustavo Hissi, Marcelo Hissi e Aline Hissi que sempre acreditaram no meu potencial e estiveram à disposição para me ajudar. À minha cunhada Quéssia Hissi que tem um papel fundamental na minha vida.

Ao meu namorado Guilherme Schiefferdecker que sempre está disposto a me ajudar de todas as formas para contribuir com a minha evolução, crescimento e conquistas. Também a toda a sua família, em especial aos meus sogros Fernando Schiefferdecker e Ieda Rocha que se colocam à disposição, com muito carinho e cuidado.

Aos meus amigos que direta e indiretamente me deram apoio e me ajudaram em diversos momentos, com palavras de apoio ou mesmo diretamente no trabalho, são estes: Suéllen Muller, Dionatan Gerber, Douglas Porrua, Vinicius Almeida, Karina Andrade, Laura Jácomo, Suélen Ferreira, Izamara Oliveira, Edriano Alexandre, Beatriz Medeiros e Marcílio Mariano.

RESUMO

Na crise energética e climática atual, as energias renováveis são uma alternativa promissora para a reestruturação da matriz energética global e minimização de emissões. Dentre as diferentes fontes renováveis disponíveis, a biomassa florestal destaca-se como uma alternativa acessível e versátil, além de contribuir para a gestão de resíduos florestais sobrando em povoamentos e redução do risco de incêndio. Para atender ao objetivo de avaliar como, onde e por quem é desenvolvida investigação sobre biomassa florestal para fins energéticos, neste estudo foi feita uma análise bibliométrica das publicações científicas nesta área temática utilizando o acervo da base de dados Scopus. As análises foram parcialmente realizadas na plataforma de gestão de informação da base de dados Scopus para avaliação do número de documentos, evolução temporal, idiomas, países e instituições. Usou-se também o software VOSviewer para definir redes de autores, publicações e países com base em citações, co-citações, co-autoria e acoplamento bibliográfico. Foram selecionadas 1244 documentos através da sintaxe de busca aplicada, dos quais 998 são publicações em periódicos e 248 artigos de conferências. As áreas temáticas que mais se dedicam a este tema são Ciências Ambientais, Energia, Agricultura e Ciências Biológicas e Engenharia. Os países com mais contribuição para a literatura nesta área são os Estados Unidos da América, Itália e China. As avaliações bibliométricas desta pesquisa apontaram para uma forte tendência de crescimento das investigações relacionados a biomassa florestal indiciado também em outras publicações, bem como a influencia de alguns autores é relevante não somente à escala local, mas em colaboração internacional, e que novas frentes de pesquisas estão constantemente surgindo.

Palavras-chave: Bioenergia; Resíduos florestais; Bibliometria; VOSviewer; Scopus.

ABSTRACT

Due to the current energy and climate crisis, renewable energies are a promising alternative for restructuring the global energy mix minimizing emissions. Among the different renewable sources available, forest biomass stands out as an accessible and versatile alternative in addition to contributing to the management of forest residues in stands and reducing the risk of fire. To assess how, where and by whom research is carried out on forest biomass for energy purposes, a bibliometric analysis of scientific publications in this thematic area was carried out using the collection of publications available in the Scopus database. The analyzes were partially conducted on the information management platform of the Scopus database to assess the number of documents, temporal evolution, languages, countries and institutions. VOSviewer software was used to define networks of authors, publications and countries based on citations, co-citations, co-authorship and bibliographic coupling. 1244 documents were selected using the applied search syntax, of which, 998 are publications in journals and 248 articles from conferences. The thematic areas that are most dedicated to this topic are Environmental Sciences, Energy, Agriculture, Biological Sciences and Engineering. The countries with the greatest contribution to literature in this area are the United States of America, Italy and China. It was possible to conclude that there is a trend towards the use of forest biomass for energy purposes, that journal articles are the types of documents in which there are more publications, in addition to determining the most influential authors and institutions. The bibliometric evaluations of this research showed a strong growth trend in research related to forest biomass, also indicated in other publications, as well as the influence of some authors is relevant not only at the local scale, but beyond in international collaboration, and that, new research fronts are constantly emerging.

Keywords: Bioenergy; Forest residues; Bibliometrics, VOSviewer; Scopus.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABELAS	ix
LISTA DE SIGLAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	2
2.1 Conceitos da biomassa florestal e energia	2
2.1.1 Biomassa Florestal.....	2
2.1.2 Bioenergia.....	5
2.1.3 Conversão de biomassa em energia	7
2.1.4 Prevenção de incêndios florestais	11
2.2. Análise bibliométrica	12
2.2.1 Fundamentos	12
2.2.2 Aplicação à bioenergia.....	14
2.2.3 VOSviewer.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Seleção da base de dados	22
3.2 Definição de termos e syntax.....	23
3.3 Exportação de dados	25
3.4 Correções de nomenclaturas	25
3.5 Análises de dados.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Descrição geral	30
4.1.1 Distribuição temporal	32

4.1.2 Documentos	35
4.1.3 Autores.....	37
4.1.4 Países e regiões	38
4.1.5 Idiomas.....	40
4.1.6 Instituições	41
4.1.7 Países de língua oficial portuguesa	43
4.2 Análise de redes	44
4.2.1 Documentos	44
4.2.2 Autores.....	46
4.2.3 Países	52
4.2.4 Palavras-chave	56
5. CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Layout de seleção dos documentos por instituição do programa VOSviewer	26
Figura 2 - Dicionário para uniformização de dados de autores no programa VOSviewer	27
Figura 3 - Distribuição dos documentos selecionados (em percentagem) por área científica.	31
Figura 4 - Evolução do número de publicações selecionadas neste trabalho entre 1966 a 2020.	33
Figura 5 - Mapa da distribuição das publicações sobre biomassa para energia selecionadas neste trabalho por países.	40
Figura 6 - Número de publicações por instituição no conjunto de documentos selecionados.....	42
Figura 7 - Mapa de rede documentos com base em citação. Cores diferentes indicam clusters distintos de publicações.....	44
Figura 8 - Mapa da rede de documentos com base em acoplamento bibliográfico. Cores diferentes indicam clusters distintos de publicações.....	45
Figura 9 - Gráfico de rede de co-autoria em publicações sobre o tema da biomassa para energia. Cores diferentes indicam clusters distintos de autores.	47
Figura 10 - Rede de co-autoria com informação dos períodos de publicação. Amarelo indica datas mais recentes (2020) e azul datas mais antigas (2005).....	50
Figura 11 - Gráfico de rede de autores com base em citação.	51
Figura 12 - Gráfico de rede de autores baseado em co-citação. Cores representam clusters de autores.....	52
Figura 13 - Gráfico de rede de países com base em co-autoria. Cores diferentes representam clusters diferentes.....	53
Figura 14 - Gráfico de rede de países com base em co-autoria ao longo dos anos. ...	55

Figura 15 - Gráfico de rede de países com base em acoplamento bibliográfico. Cores indicam clusters de países.	56
Figura 16 - Gráfico de rede de palavras-chave com base em co-ocorrência.	58
Figura 17 - Gráfico de rede de palavras-chave com base em co-ocorrência com indicação do seu uso ao longo do tempo.	59
Figura 18 - Mapa de calor da rede de palavras-chave com base em co-ocorrência...	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição de documentos selecionados (em número) por área científica.	32
Tabela 2 - Os 20 documentos mais citados na plataforma Scopus no tema de uso de biomassa para fins energéticos de acordo com a seleção feita neste trabalho. Utilizou-se a abreviatura et al. para as publicações com mais do que três autores. Para a lista completa	35
Tabela 3 - Número de publicações selecionadas neste trabalho por autor.	37
Tabela 4 - Ranking dos 20 países com mais documentos publicados na base de dados Scopus de acordo com a seleção efetuada neste trabalho.....	39
Tabela 5 - Números de documentos publicados em cada idioma.....	40
Tabela 6 - Número de documentos publicados por instituição nos países de língua oficial portuguesa.	43
Tabela 7 - Ranking dos países por atributo Força Total de Link com base em co-autoria com indicação do número de documentos e citações.....	53
Tabela 8 - Ranking dos países por atributo Força Total de Link com base em co-autoria com indicação do número de documentos por países e citações.....	58

LISTA DE SIGLAS

Símbolo/Sigla	Descrição
.txt	Arquivo tipo texto (text)
ATP	Adenosine trisphosphate
BFP	Biomassa florestal primária
BFR	Biomassa florestal residual
CEF	Cultura energética florestal
CFDs	Computacional fluid dynamics
CNR IBE	Consiglio Nazionale delle Ricerche Instituto per la BioEconomia
CO ₂	Dióxido de carbono
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
CSV	Comma separated values
GC	Gases condensáveis
GNC	Gases não condensáveis
NADPH	Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate
NASA	National Aeronautics and Space Administration
O ₂	Oxigénio molecular
PC	Material lenhoso pós consumo
SCIE	Science citation index expanded
SI	Sobrantes industriais
SNA	Social network analysis
SSCI	Social sciences citation index
URL	Uniform resource locator
USA	United States of America
VOS	Visualisation of similarity
WOS	Web of Science

1. INTRODUÇÃO

O emprego de fontes de energia não renováveis tornou-se predominante desde o século XVIII. Como a demanda de combustíveis obtidos destas fontes foi sempre crescente e sua reposição natural ocorre de maneira muito lenta, antes do século XX já se previa o esgotamento das suas reservas (Canto, 2011).

Devido a problemas ambientais e outros gerados pelo consumo de combustíveis fósseis, a alternativa encontrada pelos países e a nível mundial foi explorar fontes renováveis, tais como a biomassa florestal (Canto, 2011).

Antes tratada como lenha e carvão vegetal, desde que as tecnologias de processamento e transformação se desenvolveram, foi facilitada a utilização de biomassa florestal em setores diversos de produtos energéticos bem como o comércio internacional a nível global.

Adicionalmente, o uso de biomassa florestal para energia tornou-se uma forma de enfrentar um crescente problema em países como Portugal: o dos incêndios florestais. O uso da biomassa florestal para energia pode contribuir para reduzir o risco de incêndio, sendo uma prática sustentável e, sobretudo, devendo ser uma estratégia recomendada a nível nacional (Magalhães, 2006). Segundo Marques e Cunha (2019), a redução do risco de incêndios florestais está relacionada com a redução da biomassa lenhosa nos povoamentos florestais, já que a acumulação de material combustível é o fator que mais favorece a propagação do fogo.

A complexidade de padronizar, definir e planear as ações de intervenção relativamente à biomassa florestal apresenta entraves relacionados aos custos de investimento. A alternativa de utilizar a biomassa florestal para energia é uma solução positiva e eficaz para esta questão, favorecendo o aumento da rentabilidade da floresta e ainda viabilizando a autossuficiência energética para regiões com abundância de povoamentos florestais (OTI, 2020).

O incentivo, padronização e otimização de processos para uso da biomassa florestal para fins energéticos é um tema que necessita de fomento à pesquisa e incentivos, para que além de promover melhorias contínuas nos processos envolvidos nesta cadeia produtiva também melhore o padrão de vida de comunidades e regiões subdesenvolvidas (Soares et al., 2006).

Com o passar do tempo, a produção de publicações científicas em diversas áreas do conhecimento é tão vasta que pesquisadores tendem a utilizar linhas de pesquisa,

autores e instituições pré-estabelecidas para desenvolvimento de sua produção científica. Como alternativa a este pré direcionamento, há técnicas de análise que, além de facilitarem a busca em bases de dados, abrangem mais resultados, e de melhor qualidade, ultrapassando barreiras geográficas e não limitando a pesquisa a países mais próximos ao dos pesquisadores (Mugnaini, 2003). Para melhor compreender a produção do conhecimento científico em áreas relacionadas com o tema da biomassa para energia, a análise bibliométrica é uma opção técnica. Segundo Silvia e Bianchi (2001) esta metodologia fornece uma base metodológica de avaliação quantitativa da produção científica e que muito pode contribuir para a compreensão de tendências temporais e temáticas.

A análise bibliométrica é uma metodologia utilizada em ciência que se baseia na pesquisa de publicações em periódicos essenciais, pressupondo que em uma pesquisa se obtenham os artigos mais relevantes dentro de uma esfera estudada (Cunha, 1985).

Considerando a temática supracitada, o objetivo do presente trabalho consiste em realizar uma avaliação bibliométrica nas áreas relacionadas com a produção e conversão da biomassa florestal para fins energéticos a fim de descrever e compreender a investigação científica nestas áreas incluindo a sua cronologia e padrões geográficos, padrões temáticos e interações de autores, instituições e regiões do globo. O trabalho adotará tanto a escala global como a escala dos países de língua portuguesa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceitos da biomassa florestal e energia

2.1.1 Biomassa Florestal

Segundo a classificação do Jornal Oficial da União Europeia (Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009) as Energias Renováveis são provenientes de fontes não fósseis e renováveis, sendo estas: eólica, solar, geotérmica, biomassa, oceano e hidráulica.

Contribuindo para a sustentabilidade do planeta, as energias renováveis são alternativas de crucial importância para redução e compensação de emissões de gases com efeito de estufa, como o dióxido de carbono retido em reservatórios de combustíveis fósseis, para a atmosfera.

Sustentabilidade energética caracteriza-se por utilizar os recursos do meio ambiente com a recuperação da fonte utilizada em proporções de tempo e quantidade similares às que foram retirados e aproveitados pelo homem (Jodar, 2018).

As fontes renováveis de energia estão distribuídas e armazenadas na natureza nas seguintes formas, segundo Faaij et al., (2000):

1. Eólica: Sob a forma da circulação de ar na atmosfera induzida pela distribuição heterogênea da incidência do calor do sol na superfície terrestre, gerando diferença de temperatura e pressão atmosférica. A configuração do terreno pode favorecer a condução do vento, gerando corredores de ar onde a energia eólica pode ser produzida com a instalação das turbinas eólicas.
2. Geotérmica: É a energia armazenada como calor no interior da Terra gerando um gradiente geotérmico no qual ocorre uma variação de, em média, 3°C para cada 100 metros de profundidade. Esse calor pode ser aproveitado através do acesso e condução de fluidos aquecidos nessas zonas.
3. Hidroelétrica: A precipitação de água evaporada dos oceanos, nos continentes, possibilita a circulação da água na superfície que eventualmente escoará de volta aos oceanos, mantendo-se o balanço hídrico global. A conformidade do terreno, assim como na eólica, também favorece a condução deste fluido, no caso são os rios, onde a energia hidroelétrica pode ser produzida a partir da construção de barragens.
4. Solar: O Sol é a maior fonte de energia passível de aproveitamento. A radiação solar atinge o planeta de forma variável conforme a localização geográfica de cada local, clima e estação do ano, podendo ser absorvidos e convertidos em energia elétrica através de placas solares ou refletidas e convergidas em um ponto na geração de calor através do foco de luz. Seu aproveitamento, além das condições naturais, também depende da capacidade de conversão das células fotovoltaicas utilizadas.
5. Oceânica: A ondulação, correnteza, gradiente térmico e salinidade são passíveis de geração de energia nos oceanos, ainda pouco exploradas. A energia das marés é a mais convencional atualmente, no qual a energia potencial gerada na diferença de altura das marés altas e baixas e energia cinética das correntes são convertidas em energia elétrica.

6. Biomassa: O mecanismo fundamental presente nas plantas para a realização do processo de crescimento é a fotossíntese. Este mecanismo permite a captação da energia proveniente do sol, que estimula o processo de fotossíntese nas plantas e produção de carboidratos aproveitados no processo de respiração, a partir da absorção de CO₂ e água e com a liberação de O₂. O oxigênio liberado também fundamental importância no processo de respiração, utilizado no chamado fotossistema II. Portanto, a energia provinda de biomassa consiste na utilização do material vegetal para conversão em energia útil através de diversos processos bioquímicos.

A biomassa florestal é vista frequentemente como o material oriundo da gestão de florestas (ramos e bicadas), matos, material queimado que não apresenta valor comercial e resíduos gerados pelas transformações pelas quais a madeira passa para ser comercializada (Magalhães, 2006). Este é o caso do conceito de biomassa residual na Lei portuguesa (Decreto de Lei n.º 64/2017 de 12 de junho). Contudo, no caso das florestas, o conceito de biomassa pode ultrapassar o âmbito mais restrito dos resíduos da atividade florestal.

A biomassa florestal (biomassa lenhosa) é uma das categorias em que a biomassa é habitualmente classificada e que inclui ainda biomassa herbácea, aquática, resíduos animais e humanos e misturas de biomassa (Tursi, 2019).

Segundo Cunha e Marques (2019), a biomassa florestal pode ser dividida em 4 categorias: Biomassa Florestal Primária (BFP), Biomassa Florestal Residual (BFR), Sobrantes Industriais (SI) e Material Lenhoso Pós-Consumo (PC).

BFP é o material de origem florestal originado na produção florestal primária e caracterizado por toros de madeira originados de povoamentos florestais, sendo estas plantações e florestas de curta rotação (Cunha e Marques, 2019).

A categoria BFR é caracterizada pela porção que comumente é perdida em atividades de origem florestal. Ainda nessa categoria a BFR podem ter duas classificações distintas, sendo os Resíduos florestais (RF) onde estão inclusos os resíduos lenhosos derivados da instalação, gestão e exploração florestal, bicadas, ramos, cepos, raízes toijas e Outra biomassa potencial (OBP) referente ao material lenhoso proveniente de medidas fitossanitárias (cortes), ações de gestão de material combustível contra incêndios, controle de espécies invasoras, sobrantes de indústrias de

beneficiamento de madeira, giestas, urzes, codeços, tojos, háqueas, mimosas e acácia (Cunha e Marques, 2019).

Os Sobrantes Industriais (SI) incluem os subprodutos que passaram pelos processos de transformação da indústria madeireira, através da serração da madeira, montagem de painéis e produção de pasta e papel. Também pode incluir subprodutos de outras indústrias florestais (OSP), como produtos não madeireiros tal qual o pinhão, frutos secos e cortiças (Cunha e Marques, 2019).

No Material Lenhoso Pós-Consumo (PC) inclui-se a madeira recuperada (MR) que já foi utilizada e que está já no fim de seu ciclo de vida, como material proveniente de construções, materiais madeireiros utilizados em residências e descartados, material que foi usado para embalagens (pellets), pastas secundárias que tiveram origem em indústria de fabricação de pasta de papel, embalagens produzidas de cartão ou papel e foram recuperadas e o próprio papel recuperado (Cunha e Marques, 2019).

Quando utilizados para aproveitamento energético, os produtos provenientes da biomassa são submetidos a diferentes processos para este aproveitamento, incluindo processos físico-químicos, termoquímicos e bioquímicos (Cardoso, 2012).

Existem diversas rotas tecnológicas para a utilização da biomassa com a finalidade de se produzir energia elétrica, contudo, todas envolvem a transformação da biomassa, por meio de processos termoquímicos, bioquímicos e físico-químicos, em um produto intermediário, que por fim, será usado na geração de eletricidade. Para cada cenário deve ser observado a viabilidade técnica e econômica de cada tipo de biomassa e da tecnologia a ser empregada visando a otimização dos resultados.

2.1.2 Bioenergia

A utilização da biomassa lenhosa para obtenção de calor ocorre desde os tempos antigos da humanidade. Atualmente é uma alternativa viável para complementar a demanda de produção de eletricidade, auxiliando na estabilização das redes elétricas e servindo de alternativa unidades de energia eólica e solar, por exemplo, em casos de possíveis necessidades (Cunha e Marques, 2019). As suas principais vantagens são os reduzidos custos e impactos ambientais, além de alta disponibilidade e abundância (Nascimento e Baggioni, 2010). Com isso, constitui como uma via alternativa para reduzir na dependência de fatores climáticos para demanda de energia, oferecendo uma opção que está disponível o ano todo (Filho, 2019). Segundo Ericson e Werner (2016),

nalguns países, como a Suécia, a biomassa florestal é uma fonte de energia de grande relevância no consumo. Neste país representa, por exemplo, 60% da procura em edifícios já que utiliza-se a biomassa no sistema de aquecimento urbano já há três décadas (Ericson e Werner,2016).

Outro aspeto positivo é que não há espécies florestais que não possam ser empregadas para este fim, embora o seu potencial para conversão dependa de características particulares como massa específica, material genético e poder calorífico, por exemplo (Bersch et al., 2018).

Nalguns casos, na europa e EUA, tem vindo a ser desenvolvidas culturas energéticas florestais (CE), povoamentos destinados para este fim e comumente direcionados para espécies de crescimento rápido, que devem ter em atenção fatores como sistema de cultivo, manutenção e gestão de água, entre outros (Patricio et al., 2013).

Em Portugal a utilização da biomassa florestal é de grande importância para o país. Primeiramente, o uso dado a este material faz diminuir a importação de combustíveis fósseis. Em segundo, a economia é promovida e aumentada a geração de rendimentos e empregos, contribuindo com os pilares da sustentabilidade energética (Faria, 2016).

As principais categorias de biomassa florestal que são utilizadas para bioenergia em Portugal são os sobrantes industriais, ou seja, aqueles sobram a partir do processamento industrial da matéria prima florestal (Cunha e Marques, 2019). Em segundo lugar estão os resíduos florestais, responsáveis por cerca de 11,5% do consumo (Cunha e Marques, 2019).

No setor da bioenergia em Portugal, já em 2016, a produção de energia elétrica e calor oriundos da biomassa florestal representava 74,9% da produção total de energia, acima da média de 55,4% da União Europeia (Cunha e Marques, 2019).

As maiores unidades de conversão de biomassa em energia em Portugal são 12 centrais dedicadas destinadas a produção de energia elétrica. Também há 9 centrais de cogeração, produzindo em simultânea energia elétrica e térmica (Cunha e Marques, 2019).

Na América do Sul (América Latina e Caribe), o Centro Agroflorestal Mundial elaborou a Estratégia de energia baseada em árvores: energia limpa e sustentável para melhorar a vida das pessoas pobres (Strategy on tree-based energy: clean and

sustainable energy for improving the livelihoods of poor people) em que apontou o continente como sendo responsável, em 2009, por 195,9 milhões de metros cúbicos de biomassa florestal destinados a energia (Dobie et al., 2015). No Brasil prevê-se que até 2030, dentre todos os tipos de biomassa utilizados para fins energéticos, a biomassa florestal seja a mais expressiva, com 40% de crescimento previsto (Baesso et al., 2020).

2.1.3 Conversão de biomassa em energia

Até ser disponibilizada na forma de energia térmica ou elétrica, a biomassa passa por vários processos, desde a produção, logística, transformação e conversão energética. A produção envolve o projeto de instalação e/ou gestão dos povoamentos florestais, à atividade industrial e gestão municipal. Quando o material florestal atinge a maturidade necessária para colheita, inicia-se a recolha e o transporte primário, trituração, crivagem e então transporte secundário. Posteriormente o material é submetido a conversão de acordo com a tecnologia utilizada, que pode ser pirólise, combustão ou gaseificação (Duarte, 2011), entre outras.

Quando comparada a outras fontes de energia renovável, a biomassa florestal ainda encontra alguns entraves ao seu uso. Isso pelo fato de ser mais densa e demandar uma infraestrutura de logística complexa, por exemplo, além de apresentar distribuição dispersa. Ou seja, torna-se por vezes uma fonte mais cara em relação a outras alternativas disponíveis (Netto, 2008).

O aproveitamento da biomassa florestal ocorre em grande parte em centrais termoelétricas que trabalham para converter a biomassa em vapor de água usado como calor industrial ou para produzir energia elétrica. O processo de cogeração é utilizado com o objetivo de gerar calor e eletricidade, sendo considerado uma alternativa mais eficiente para uso da biomassa (Azevedo et al., 2011).

A biomassa florestal é, no entanto, tradicionalmente usada para uso doméstico, em lareiras, fogões, ou recuperadores de calor que fornecem calor para aquecimento do ar e de água e para confecção de alimentos, prática que se mantém em muitos países, independentemente do seu nível de desenvolvimento, particularmente em áreas rurais (Azevedo et al., 2016).

Quando a gestão florestal é realizada de maneira eficiente para obtenção da biomassa florestal com fins energéticos, deve sempre avaliar qual é a espécie que será

utilizada, a procedência do material genético, a silvicultura aplicada, espaçamento e densidade do plantio além da rotação dos plantios (Eloy, 2013).

Para aproveitamento do material oriundo das florestas, Loução (2008) aponta que na indústria a biomassa florestal pode ser processada de acordo com quatro classificações de produtos, sendo estes diferenciados quanto a homogeneidade, tamanho, humidade e poder calorífico:

1. Estilhado de biomassa: material estilhado de forma homogénea onde as partículas têm comprimento até 10 cm e largura até 5 cm, enquanto o teor de humidade se encontra entre 20% e 55% e o poder calorífico entre 4200 e 4500 kcal/kg.
2. Triturado de biomassa: material se encontra destrozado e homogéneo, sendo que suas partículas não ultrapassam 20 cm, largura até 5 cm, humidade e teores de humidade entre 20% e 55%.
3. Rolaria Fina: diâmetro até 10 cm que pode conter fungos, fuligem ou carvão, não incluindo folhas e ramos destacados.
4. Biomassa Florestal em Bruto: produtos brutos da floresta, podendo ser desde árvores inteiras até ramos, cepos, folhagens a mato. Não é aconselhável material com largura superior a 30 cm.

Saião (2009) aponta que é importante o conhecimento das características da biomassa a qual se deseja submeter ao processo de conversão para que seja determinada a melhor tecnologia a empregar.

O aproveitamento do material florestal para energia, segue processos essencialmente termoquímicos. Destes processos, muito distintos entre si, obtém-se diferentes formas de energia como calor ou eletricidade bem como produtos energéticos intermédios como metano, gás de síntese, peletes ou combustíveis na forma líquida (Couto et al., 2004).

Os processos termoquímicos são os mais habituais na conversão energética da biomassa florestal consistindo na combustão direta, pirólise e carbonização (obtenção de carvão vegetal), gaseificação (gás de síntese) e liquefação (óleo de pirólise e também metanol), que permitem obter energia térmica, mecânica e elétrica (Couto et al., 2004).

No processo de combustão a biomassa e o oxigênio são combinados sob condições de alta temperatura no ambiente, tendo como produtos formados dióxido de carbono, vapor de água e calor (Tursi, 2019).

Também classificada como um tipo de combustão, a combustão parcial, incompleta, ou também conhecida como carbonização, consiste no aquecimento por meio de gases quentes com poder calorífico alto suficiente para promover a reação química exotérmica e carbonizar o material sem a geração de uma chama. Para seu uso são necessários alguns dos seguintes sistemas: covas, caieiras (ou balões), fornos de encosta ou fornos de superfície. O "Processo sem combustão" aproveita os subprodutos da combustão do material lenhoso, promovendo recuperação de alguns produtos químicos que na combustão direta seriam volatilizados. Como vantagem apresenta bom aproveitamento térmico e instalações com alto desempenho (Brito e Barrichelo, 1981).

Um dos produtos gerados a partir da carbonização é o carvão vegetal com diversos usos em segmentos da indústria como ametalúrgica, produção de cimento, carvão ativo, uso na indústria química além do uso doméstico (Brito e Barrichelo, 1981). A carbonização, além de produzir carvão também liberta gases não condensáveis (GNC) compostos de moléculas que existem apenas no estado gasoso, como H₂, CO, CO₂, CH₄, O₂ entre outros, e gases condensáveis (GC) compostos de moléculas que podem alterar de estado de matéria quando interligadas, como o ácido acético e fórmico, alcatrão, metanol, água, e o próprio bio óleo derivado como subproduto (Vieira et al., 2018).

No processo de carbonização a conversão da madeira em carvão vegetal apresenta um aproveitamento próximo de 30%, ou seja, 70% deste material é lançado na atmosfera consistindo em 25% de gases condensáveis e 45% que não condensáveis (Donato, 2017). A via de aproveitamento e recuperação dos GC que no processo mais básico de combustão seriam perdidos, denomina-se destilação (Couto et al., 2004).

A gaseificação, segundo Heindenreich (2015), é a obtenção de um gás combustível a partir da conversão termoquímica de um combustível sólido ou líquido através da adição sub-estequiométrica de um agente gaseificante (ar), sob condições de alta temperatura.

A gaseificação é um processo comercialmente promissor pois envolve uma técnica com menores efeitos nocivos ao meio ambiente, reduz os custos das unidades de

conversão e promove aproveitamento energético do combustível além de ser segura (Velázquez, 2006).

Os processos da gaseificação baseiam-se em secagem da madeira, desvolatilização do material volátil e gaseificação dos compostos orgânicos (Kirubakaran et al., 2007), por duas vias distintas:

1. Catalítica: onde o nível é o catalisador, a pirólise ocorre sob os efeitos do calor decompõe os combustíveis até produzir as moléculas aromáticas polinucleadas, ácido pirolenhoso, alcatrões, monóxido de carbono, dióxido de carbono e azoto).
2. Não catalítica: o carbono presente no monóxido de carbono é oxidado e na sequência corre a pirólise do ácido pirolenhoso e dos alcatrões (Velázquez, 2006).

A liquefação é um processo termoquímico em que as macromoléculas da matéria-prima (biomassa) podem polimerizar e formar compostos líquidos (bio óleo). As técnicas envolvidas na liquefação são: solvólise, despolimerização, descarboxilação, hidrogenólise, hidrogenação, entre outras (Batista, 2019).

Segundo Collares (2011), o bio óleo é uma alternativa aos derivados do petróleo para produção de energia elétrica, tendo ainda a capacidade para gerar energia termoelétrica e ser usado em outras vertentes da indústria, como insumo químico, resinas, aditivos, fungicidas, fertilizantes e outros derivados que são produzidos a partir do petróleo.

Um entrave encontrado na utilização do bio óleo como combustível é a baixa volatilidade, alta viscosidade e formação de coque e processos corrosivos, que são características prejudiciais aos motores diesel. Por isso, o uso mais comum deste produto tem sido em caldeiras e turbinas modificadas (Briens et al., 2008).

A cogeração é um processo que viabiliza a geração de mais do que uma forma de energia a partir do uso da matéria-prima, ou seja, pode produzir calor útil e trabalho mecânico, resultando em energia elétrica. Este método de aproveitamento supre diferentes segmentos da economia, satisfazendo assim no que diz respeito a necessidade de calor e também de eletricidade (Oliveira, 2007).

Numa indústria de produção de papel e celulose, por exemplo, a principal matéria-prima é a madeira. Os insumos necessários a esta produção, além da madeira,

são a água e energia elétrica e térmica para permitir a circulação, aquecimento e evaporação da água. Dentre os combustíveis utilizam-se habitualmente resíduos que os processos geram (licor negro/lixívia), biocombustíveis e também a biomassa florestal (Roberts et al., 2011).

Diversos materiais podem ser empregados nas unidades de cogeração como combustível para funcionamento do sistema, possibilitando a diversificação da fonte com a adaptação adequada do reator, podendo o combustível ser sólido, líquido e gasoso. Inserido nos combustíveis do tipo sólido, a biomassa é uma alternativa de uso crescente (Delgado, 2016).

Os sobrantes da colheita florestal que são deixados nas áreas para serem reintroduzidos na reciclagem de nutrientes. As avaliações, quantificações e metodologia diversas objetos de pesquisa são importantes para que o aproveitamento não desequilibre os processos naturais destes sítios, de maneira que a remoção destes resíduos não provoque perdas de nutrientes e degradação dos solos que dependem deste ciclo (Paes et al., 2013).

2.1.4 Prevenção de incêndios florestais

Os incêndios florestais descontrolados e de grande intensidade ou frequência apresentam-se como real ameaça para as florestas, já que geram acentuada degradação e afetam processos como regulação da água ou manutenção e sequestro de carbono.

A biomassa florestal pode ser utilizada para diferentes fins com o intuito de minimizar os riscos de incêndios florestais através da limpeza de povoamentos e no manejo dos restos que ficam sob o solo, realizando assim a gestão dos materiais com potencial combustível e amenizando o alastramento de focos de incêndio (Magalhães, 2006).

Os danos financeiros e sociais gerados pelos incêndios florestais afetam diretamente a economia, já que prejudicam a produção de empresas florestais. Por consequência, o ciclo natural da economia de madeira é comprometido, seja por terceirizados de materiais, empresas de transportes autônomos, funcionários, desempregos gerados, dentre outros (Magalhães, 2006).

Em Portugal houve um aumento progressivo da quantidade de materiais combustíveis dispersos nos terrenos a partir do século XX, aumentando o risco de incêndio e levando ao aumento da área ardida nas últimas décadas, com perdas

incalculáveis de vidas humanas e biodiversidade, além de prejuízos a proprietários e empresas em povoamentos e equipamentos destruídos. Os incêndios florestais também geram entraves na exportação de produtos de origem florestal por Portugal, como por exemplo os peletes, que é dos principais produtores e fornecedores na Europa e do mundo, à medida que inviabiliza o processamento do material florestal e destrói unidades de produção (Bionergy Europe, 2019). A partir de 2014 Portugal teve significativa redução da sua produção de peletes devido aos incêndios. A partir de 2018 o país começou a recuperar a sua produção, diante também da abertura de novas unidades que contribuíram com um incremento de 12% na produção (Bionergy Europe, 2019).

2.2. Análise bibliométrica

2.2.1 Fundamentos

Segundo Medeiros et al. (2015), a análise bibliométrica foi desenvolvida em resposta à necessidade de se mensurar o valor científico dos trabalhos publicados e disponíveis como base para referencial bibliográfico no desenvolvimento de projetos e investigações. São muitos os materiais disponíveis a um pesquisador quando realiza uma busca, mas a seleção deve incluir material confiável para o tratamento dos dados de um projeto, a fim de não gerar resultados tendenciosos. Ou seja, o desenvolvimento da ciência é “alimentado” pela própria ciência, sendo que seu funcionamento tem uma sequência, é acumulativo e coletivo (Macias-Chapula, 1998).

Seu primeiro uso é datado de 1922, antes mesmo de ser considerado parte da Ciência da Informação, tendo sua premissa baseada no planejamento e esclarecimento das metodologias científicas e tecnológicas que envolviam processos de contagem de documentos (Guedes e Borschiver, 2005).

A análise bibliométrica usada como metodologia de pesquisa permite reunir os periódicos mais relevantes em determinado campo de pesquisa (Cunha, 1985). Os indicadores da análise bibliométrica incidem sobre a qualidade científica, atividade científica, impacto científico e associações temáticas (Lopes et al., 2012).

Os indicadores de qualidade científica baseiam-se na avaliação por parte dos pares de acordo com o conteúdo das publicações. Já os indicadores da atividade científica irão avaliar o número e distribuição dos trabalhos, produtividade de seus autores e a colaboração na produção sob o aspecto de autoria e quantidade e distribuição

dos trabalhos publicados. Os indicadores de impacto científico expressam o impacto dos trabalhos (por exemplo quantas vezes um trabalho foi citado) e das fontes utilizadas (permite por exemplo medir o impacto de uma revista, através do seu índice de citação e assim perceber a influência desta). Quanto aos indicadores de associação temática, estes referem-se à análise realizada para perceber as citações e referências comuns (Sancho, 1990).

A análise bibliométrica baseia-se em leis e princípios e é regida por vários embasamentos teóricos da Ciência da Informação (Guedes e Borschiver, 2005). Combinando análises matemáticas e estatísticas aplicadas a uma base de dados é possível apurar e contabilizar obras já produzidas sobre determinado tema, permitindo assim avaliações mais precisas (Moran et al., 2010). Ainda segundo Moran et al. (2010), a análise bibliométrica deve seguir as seguintes fases de planeamento:

1. Formulação da (s) questão (es) a ser (em) respondida (as);
2. Definição das variáveis e premissas;
3. Definição da amostra;
4. Coleta e interpretação dos dados;
5. Conclusões.

Na prática devem-se definir os termos e palavras-chave a serem utilizados como base da pesquisa, sendo que esta fase é de crucial importância para cobrir de forma eficiente o alcance das buscas realizadas. A realização da análise individual dos termos combinados, se mal planeada, pode vir a reduzir a eficiência da pesquisa, devendo-se evitar que existam lacunas na escolha da melhor combinação de taxonomia. As bases de dados também devem ser escolhidas com rigor e critério, para que sejam contemplados o máximo de trabalhos e para que estes sejam de qualidade (Yoshida, 2010).

Com o surgimento da análise bibliométrica foram concebidas leis empíricas para padronizar a avaliação do comportamento das referências científicas, sendo estas:

1. Lei de Lotka: aplicada para mensurar a produção científica dos autores de determinado tema (Araújo et al., 2006). Tem seu fundamento baseado na premissa de que os pesquisadores que apresentam maior reconhecimento têm maior produção científica, comparativamente a pesquisadores com menor reconhecimento (Guedes e Borschiever, 2005).

2. Lei de Bradford: aplicada para mensurar a produtividade relativa aos documentos inseridos em periódicos científicos (Araújo et al., 2006). Permite estimar o grau de relevância dos periódicos e a identificação da frente de pesquisa em certa área científica (Guedes e Borschiever, 2005).
3. Lei de Zipf: aplicada para mensurar em específico a frequência das palavras em um dado texto (Araújo et al., 2006). Permite avaliar a frequência das palavras-chaves e a região onde se concentram os termos de indexação. Parte da premissa de que as palavras-chaves se repetirão em muitos dos documentos, pressupondo que estas têm relação, inclusive em suas metodologias e temas abordados (Guedes e Borschiever, 2005).

A internet pode ser utilizada como ferramenta de pesquisa ou como acesso a bases de dados, em que se trabalha com motores de busca que conseguem selecionar elevadas quantidades de informação, favorecendo ainda a obtenção de dados mais específicos relativamente a tópicos como domínio de países ou de instituições sobre determinado campo da ciência, por exemplo (Vanti, 2002).

2.2.2 Aplicação à bioenergia

Várias publicações têm recentemente abordado temas relacionados com biomassa e energia com base em metodologias do âmbito da análise bibliométrica. Chen e Ho (2015) utilizaram análise bibliométrica para avaliar os artigos mais citados em investigação relacionada com a biomassa. Para isso, os autores escolheram com base no índice de citações “Science Citation Index Expanded” (SCIE), os trabalhos com elevado número de citações publicadas nesta área entre 1900 e 2013. Definiram que os artigos selecionados deveriam ter um número mínimo de 100 citações para serem considerados relevantes e selecionados na pesquisa. Informações úteis, tais como ano de publicação, instituição, país e território, periódico, categoria e ciclo de vida de citação, foram recolhidas na pesquisa. Obtiveram um retorno de 3407 trabalhos, publicados no intervalo pré-definido. Os autores observaram que a área científica de ecologia liderava as publicações mais relevantes e que os EUA eram o país que mais contribuía para o número destas publicações, sendo as 13 instituições mais produtivas também localizadas neste país, inferindo sobre a existência de um forte investimento de recursos deste tema neste país.

Mao et al. (2015) analisaram publicações no intervalo de tempo de 1994 até 2013 selecionadas nas bases de dados do “Science Citation Index Expanded” (SCIE) e “Social Sciences Citation index” (SSCI) a fim de descrever as atividades de investigação existentes sobre energias alternativas e direções futuras a partir da análise bibliométrica.

Utilizaram o método de análise de rede social (“Social Network Analysis - SNA) para avaliação da força de colaboração entre pessoas e grupos. Observaram maior atividade de publicações a partir de 2008 trabalhos desenvolvidos principalmente nas áreas de energia, combustíveis e ciências ambientais, identificando também a revista mais ativa na publicação sobre o tema. Além disso, o EUA, país líder na produção científica nos campos de biomassa e meio ambiente, com 1456 artigos, mostrou-se muito participativo em colaborações acadêmicas desenvolvidas com outros países como a China, Reino Unido, Canadá, Alemanha, Itália, Coreia do Sul e Espanha. Observaram também que a energia solar e a eólica apresentaram maior frequência nas publicações entre os primeiros 5 e 10 anos do intervalo da pesquisa, tendo a bioenergia após esse período apresentado significativo crescimento. Através da análise bibliométrica concluíram que no setor da bioenergia as matérias-primas mais exploradas eram oriundas da floresta (biomassa florestal), culturas energéticas e culturas de *Panicum virgatum* (switchgrass). Identificaram ainda a fermentação como o processo bioquímico mais utilizado para conversão em energia e, por sua vez, o biogás, biodiesel e bioetanol os combustíveis mais correntemente considerados nos estudos desenvolvidos na área de bioenergia.

Outro trabalho foi desenvolvido sobre o tema da energia da biomassa com o intuito de identificar tendências evolutivas a partir de 9514 publicações disponíveis no “Science Citation Index Expanded” entre 1998 e 2017 (Mao et al., 2018). Em especial, utilizaram o método de análise “co-word” para avaliar a forma como a interação das palavras-chave escolhidas na seleção das publicações (“Biomass energy” e “Environment”) alterou-se com o passar o tempo. Os autores pretendiam com este trabalho explorar e disponibilizar a pesquisadores interessados informações úteis em relação a tendências de publicações e assim nortear e auxiliar em tomadas de decisões para tópicos de pesquisas futuras dentro do tema.

Rosokhata et al., (2021) desenvolveram uma análise bibliométrica sobre energia renovável, com o objetivo de identificar documentos de pesquisas existentes sobre

energia limpa. Para isso identificaram as publicações, autores e organizações que mais se destacaram nesta área de pesquisa com base em 17805 publicações selecionadas da base de dados Web of Science com a palavra-chave “renewable energy”. Uma amostra das 2000 publicações mais citadas foi utilizada para a pesquisa, de acordo com uma classificação pré-definida (probabilidade 95%, intervalo de confiança 2,06%). Identificaram que o período de maior contribuição foi entre 2016 e 2020 em que observaram 51,7% das publicações em revistas científicas. Foram avaliados as áreas de pesquisa, região, organizações de pesquisa e patrocinadores, periódicos, citações de periódicos, autores, publicações e co-ocorrência por palavras-chave no programa VOSviewer. As áreas de pesquisa mais usuais nos resultados encontrados foram “energy fuels” (47,8%), “engineering” (38,9%), “Science technology other topics” (20,9%), “environmental and ecology” (17,5%), e “business economics” (9,8%). Os países que mais contribuíram com as publicações foram os Estados Unidos (2606), China (1951) e Índia (1223). Identificaram seis segmentos principais de pesquisa “an optimizer”(método de otimização aplicada a energia renovável), “Renewable energy”, “biomass”, “CO2 emissions”, “model” e “desalination”. As organizações que mais conduziram investigação sobre energia renovável foram “United States Department of Energy” (1,9%) e “Indian Institutes of Technology” (1,4%). Já os principais financiadores foram “National Natural Science Foundation of China” (3,6%), Comissão Europeia (2,1%), “National Science Foundation” (0,9%) e “UK Research Innovation” (0,8%). As revistas mais ativas foram a “Renewable Sustainable Energy Reviews” (5,2%), “Renewable Energy” (4,3%), “Energy Policy” (3,8%), “Energy” (2,3%) e “Energies” (2,2%). Também identificaram os autores e publicações mais citadas e co-ocorrência de palavras-chave. Concluíram que os últimos 10 anos foram muito produtivos no tema de energias renováveis, que as áreas de economia de negócios, engenharia mecânica, tecnologia da ciência e ciência da computação são as que mais têm abordado o tema. A investigação desenvolvida serve de suporte para cientistas encontrarem financiadores de projetos e contribuírem ativamente com seus resultados para a sociedade.

Também aplicado ao tema do presente estudo, Ferrari et al., (2020) desenvolveram uma análise bibliométrica das tendências da biomassa na investigação sobre a contribuição da bioenergia para a “transição verde” dos combustíveis fósseis para as energias renováveis. A análise, para o período de 2000 a 2019, utilizou a base de

dados Scopus identificando aproximadamente 10 mil artigos foram publicados nas áreas “Agricultural and Biological Sciences” com trabalhos, que variam desde a colheita até aos tipos específicos de energia que se pode obter. Foi utilizado um programa específico de mineração de texto que permite avaliar as tendências de publicações indexadas nas últimas décadas, sendo possível identificar o aumento da importância dos aspectos ambientais (7,3% das publicações no início de intervalo e 11,8% no ano de 2019). A utilização do termo biocombustíveis nas publicações aumentou neste intervalo de 0,13 vezes por artigo em 2000 para 0,38 em 2019. Para o termo biogases essa evolução foi ainda mais significativa, passando de 0,14 vezes para 0,42.

Adedayo et al., (2021) realizaram uma análise bibliométrica sobre energia na Nigéria a fim de avaliar as características e avanços da investigação nesse país. Para isso consideraram o intervalo de tempo de 1974 a 2019 e a base de dados Scopus utilizando na busca as palavras-chave “Energia” e “Nigéria” obtendo um retorno de 3803 documentos, mais tarde reduzido para 2791 documentos. Também testaram o uso do Google Acadêmico para o mesmo efeito obtendo um retorno de 2880 resultados apesar de esta base de dados limitarem a exportação completa de metadados. Como 80% dos documentos encontrados no Google Acadêmico se encontravam também na base Scopus, utilizaram apenas esta última base de dados. Os resultados encontrados mostraram, entre outros aspectos, que de 8 documentos em 1988 a Nigéria passou para 445 documentos em 2019; no Sudoeste da Nigéria concentram-se 22,7% dos documentos publicados, as áreas temáticas nas quais se observaram mais publicações em periódicos foram Engenharia (18,1%), Energia (17,6%), Física e Astronomia (9,5%) e Ciências Ambientais (8,2%).

Os 414 periódicos científicos analisados têm 49,8% de contribuição da Nigéria, sendo “Journal of Renewable Energy”, “Renewable and Sustainable Energy Reviews”, “Advanced Materials Research”, “Energy” e “Energy Conversion and Management” os periódicos mais produtivos; Os autores observaram ainda que apesar de a biomassa lenhosa ser a principal fonte de energia no país, apenas 18,6% dos documentos selecionados cobrem este assunto, sendo a energia solar a área com maior expressão nos resultados (Adedayo et al., 2021).

Mirkouei et al., (2017) realizaram uma revisão da literatura para determinar orientações futuras em modelação técnico-económica e contribuir para a otimização do uso da biomassa florestal em cadeias de abastecimento de bio óleo. Para isso utilizaram

uma abordagem bibliométrica a fim de classificar e analisar estudos já publicados, baseando-se na avaliação de casos de sucesso no abastecimento de biomassa florestal, favorecendo assim a otimização técnica e económica de processos com este fim. Primeiramente aplicaram o método de revisão de literatura narrativa a fim de explorar conceitos-chave importantes para a pesquisa. Esta etapa foi importante para perceber os principais processos envolvidos na obtenção do bio óleo. A análise centrou-se em dados de publicações, citações e palavras-chave. A base de dados escolhida foi *Web of Science (Social Sciences Citation Expanded)*. Obtiveram para o período de 2000 a 2015 um total de 277 e 126 registos para diferentes combinações de palavras-chave.

Foi utilizado o software VOSviewer no processamento e análise dos dados, o que permitiu evidenciar o acelerado crescimento recente de publicações sobre bio óleo, em especial nos últimos 5-7 anos. Também foi possível identificar os principais periódicos em ambos os conjuntos de palavras-chave: “International Journal of Biomass and Bioenergy”, “Renewable Sustainable Energy Reviews”, “Journal of Biofuels”, “Bioproducts” e “Biorefining” e “Journal of Applied Energy”. As pesquisas foram publicadas principalmente por autores dos Estados Unidos da América, Canadá, Finlândia e Inglaterra. Apontaram também os 10 académicos mais produtivos neste campo de pesquisa, liderado por Taraneh Sowlati (Canadá), com 11 artigos, e Amit Kumar (Canadá), com cinco artigos (Mirkouei et al., 2017).

Apontaram as dez principais áreas de pesquisa, concluindo que os estudos direcionados a combustíveis, microbiologia aplicada à biotecnologia e engenharia são as três mais comuns (Mirkouei et al., 2017).

Mirkouei et al., (2017) concluíram que a maioria dos documentos encontrados examina o segmento de biomassa para bio óleo e tratam de problemas isolados em três atividades principais: colheita, logística e armazenamento. A pesquisa demonstrou haver um interesse crescente no tema por parte do meio académico, da economia e da geo-política. Porém, ressaltam que ainda há necessidade de mais pesquisas com enfoque maior em biomassa florestal para conversão em bio óleo, principalmente sobre pré-tratamentos e implementações na indústria. Também apontaram para a escassez de publicações no âmbito da modelação.

2.2.3 VOSviewer

É um desafio para a ciência associar informações distintas de trabalhos científicos, sejam revistas ou âmbitos de publicação, e gerar produtos organizados a partir destas. Até aos dias de hoje há muitos estudos que buscam resumir num único gráfico a informação relativa a um conjunto de publicações a partir do cálculo de indicadores baseados em, por exemplo, co-citações, acoplamento bibliográfico, co-autoria ou co-ocorrência (Eck et al., 2010).

Os gráficos representam redes de autores, instituições, países, documentos, autores e palavras-chave que são utilizadas atualmente em análises bibliométricas. As redes são compostas por um conjunto de nós que se ligam através de links, os quais expressam aproximação ou distanciamento de relação entre os itens. Ou seja, mesmo que muitos pontos tenham muitas ligações estas relações são menos significativas do que poucos pontos ligados por um link forte (Franco et al., 2018).

A análise de citações é umas das avaliações disponíveis para definir redes e baseia-se na contagem das citações de autores, fontes, organizações, documentos e países. É importante para avaliar a visibilidade e impacto destes e poder perceber a influência que têm sobre pesquisas desenvolvidas posteriormente. Co-citações referem-se à frequência com que duas referências são citadas conjuntamente e podem ser aplicadas a publicações, fontes e autores (Grácio et al., 2009).

Outra métrica é o acoplamento bibliográfico que mensura a relação entre dois documentos baseada no número de referências em comum citadas pelos dois artigos. O acoplamento bibliográfico pode ser estabelecido entre autores, documentos, fontes, organizações e países (Grácio, 2016).

A análise baseada na co-ocorrência estabelece um relacionamento entre palavras, conforme aparecem em títulos, resumos ou palavras-chave, usando diretamente o conteúdo disponível nos documentos analisados (Gianordoli, 2016).

Uma das metodologias mais utilizadas atualmente em análises bibliométricas designa-se por VOS (“Visualization of Similarities”) que utiliza mapeamento multidimensional baseando-se na visualização por similaridade, permitindo combinar técnicas de mapeamento e de agrupamento hierárquico (Gianordoli, 2016).

A técnica VOS oferece melhor visualização de gráficos já que não tende a limitar o gráfico a um dado formato e concentrar os elementos mais representativos no

centro, como a técnica de Escalonamento Multidimensional faz, já que seus algoritmos trabalham de acordo com critérios de proximidade e peso (Eck et al., 2010).

Todo o processamento necessário à criação das matrizes e geração de gráficos de rede é realizado em programas informáticos aptos a tratar uma grande quantidade de informações de maneira rápida, cruzando dados disponíveis numa base de dados e fornecendo de forma rápida maiores detalhes (Sampaio et al., 2015).

Segundo Eck et al., (2010) o programa informático VOSviewer usa a técnica VOS para produção de mapas baseados em dados de redes bibliométricas. Foi desenvolvido para criação, visualização e exploração de mapas destas redes. As conexões em que se baseia, relacionam autores, periódicos, documentos, organizações, fontes, países e palavras-chave. O programa dá ao utilizador a possibilidade de criação de mapas baseados em redes já estabelecidas, de criar mapas baseados em dados bibliográficos ou a partir de arquivos em texto.

A terminologia utilizada em VOSviewer é de crucial importância para a construção de redes e análise e interpretação dos resultados gerados. O programa considera um conjunto de termos com os seguintes sentidos (Eck e Waltman, 2018):

1. Itens: são os objetos de interesse que irão compor o produto gerado (o mapa de rede). Os itens (ou nós da rede) podem ser publicações, países, palavras-chave ou autores. Por norma utiliza-se apenas um tipo de item por análise.
2. Links: são as conexões ou relações entre dois itens, podendo ser de diferentes tipos como citação, co-citação, acoplamento bibliográfico, co-autoria ou co-ocorrência.
3. Força: é a força da relação entre dois itens (link). Cada link apresenta uma força, dada em valor numérico positivo, sendo que quanto maior for esse número maior a força. A força de um link pode expressar por exemplo o número de referências em comum entre duas publicações, no caso de acoplamento bibliográfico.
4. Rede: é o conjunto de itens e links que se visualiza no gráfico de rede.
5. Clusters: são diferentes grupos em que os itens podem estar organizados. São distribuídos espacialmente, não se sobrepõem e são representados por cores diferentes nos gráficos de redes.
6. Atributos: são características dos itens representados nas redes, podendo os itens ter vários atributos. São exemplos de atributos o número do cluster a que

um item pertence, valores de pesos e atributos de pontuação (negativo ou positivo, indicadores de outras propriedades quando é realizada a sobreposição de mapas de rede).

7. **Peso:** o peso é um atributo dos itens indicador da sua importância ou proeminência na rede. VOSviewer atribui maior peso a um autor que foi mais citado, por exemplo, dando maior destaque visual ao mesmo (inclui um círculo maior e em posição mais central). O peso é atribuído a ocorrências (contagem de documentos em que ocorre determinada palavra chave), documentos (contagem de documentos que foram publicados por um país, autor, instituição, fonte ou organização), ou citações (em caso de análise de co-autoria, citação, links ou acoplamento bibliográfico, sendo contagem de citações a uma data referência, fonte ou autor).
8. **Links e Força Total do Link:** para determinado item, é o número de links entre esse item e outros itens e a força entre de todos esses links, respectivamente. No caso de links de co-autoria, o atributo Links indica o número de links de co-autoria de um determinado pesquisador com outros pesquisadores e o atributo Força Total do Link indica a força total dos links de co-autoria de um determinado pesquisador com outros pesquisadores.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho utilizamos uma abordagem bibliométrica para identificar as publicações mais relevantes nas áreas da biomassa para energia bem como padrões temporais, geográficos, temáticos, institucionais e individuais nas publicações nesta área. A metodologia inclui a seleção da base de dados bibliométrica, a seleção de publicações com base em palavras-chave, a exportação de dados e importação em VOSviewer, correção de nomenclatura e análise de resultados.

3.1 Seleção da base de dados

A escolha da base de dados é uma etapa muito importante na avaliação bibliométrica pelas implicações que tal tem nos resultados a obter. A base de dados bibliográfica deve possuir vasta cobertura temática e temporal de publicações científicas e abranger periódicos indexados cujos artigos passaram por processos de avaliação e validação de qualidade por pares, necessários para a sua inclusão nesses acervos. A base de dados escolhida também deve fornecer ao pesquisador a possibilidade de acesso facilitado aos artigos e a toda a informação relativa aos mesmos, que possibilite a sua posterior análise em detalhe e eventual utilização como dados de entrada em ferramentas de análise bibliométrica.

A base de dados escolhida para a realização do presente trabalho foi a Scopus, criada no ano de 2004 e propriedade da editora Elsevier. Segundo a ficha informativa respectiva, esta base de dados apresenta mais de 75 milhões de registros, mais de 24 mil títulos ativos, 194 mil livros e 5 mil editores.

Scopus está disponível para assinantes e oferece informação em áreas temáticas de investigação relacionada com ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais, artes e humanidades. Oferece também algumas possibilidades de representação e análise de dados bibliométricos, permitindo que as pesquisas sejam visualizadas e monitorizadas na própria plataforma de gestão de dados, além de permitir a sua exportação pelos utilizadores para posteriores análises em diferentes aplicações informáticas.

Antes de ser escolhida a base de dados Scopus, foi também avaliada a possibilidade do uso da Web of Science (WOS), uma base de dados que indexa periódicos de prestígio em diferentes áreas, dando ao utilizador a oportunidade de identificar as citações recebidas por estes documentos, referências utilizadas, análise da produção científica já com o cálculo de índices bibliométricos e percentagem de auto-

citações, além de apresentar rankings de muitos outros parâmetros disponíveis (Ceretta et al., 2016). WOB é propriedade da empresa Clarivate (Clarivate, 2021).

O recurso mais procurado da plataforma é o Web of Science Core Collection que conta com mais de 21 mil documentos de periódicos acadêmicos revistos por pares, mais de 205 mil documentos de anais de conferências e mais de 104 mil livros.

As duas bases de dados foram comparadas com base numa seleção preliminar de artigos a partir do mesmo conjunto de palavras-chave e restantes critérios de busca. Para tal, através da busca das palavras-chave “forestry”, “energy” e “biomass”, obtiveram-se 1259 documentos do WOB dos quais se selecionaram aleatoriamente 34 para testar a inclusão de artigos relacionados com o tema da busca. Verificou-se que 11,2% das publicações não se enquadravam de todo no tema. Também foi observado que a plataforma do WOB limita a exportação dos dados, sendo apenas possível extrair 500 documentos de cada vez. No Scopus foi realizada a mesma busca com retorno de 1244 documentos. Foram selecionadas ao acaso 60 documentos os quais, após avaliação, revelaram que 8,3% destes se encontravam fora do tema em questão.

A base de dados Scopus foi escolhida para este trabalho por apresentar um menor erro de seleção de trabalhos fora do assunto em análise. O facto de todos os documentos selecionados puderem ser exportados como um bloco único foi outra das razões para a utilização de Scopus.

3.2 Definição de termos e sintax

A definição das palavras-chave é de grande importância para a busca dos artigos a serem selecionados para avaliação bibliométrica. Para além dos termos, também a sintaxe construída e aplicada na busca influencia os resultados.

Para definir as palavras-chave mais ajustadas aos resultados que se esperava obter, foi realizada a leitura de artigos científicos no tema em questão e observados os termos mais frequentemente utilizados nos títulos, palavras-chave e texto.

O termos encontrados com mais frequência na literatura do tema da biomassa florestal para fins energéticos foram: “biomass”, “forest”, “residues”, “energy”, “bioenergy”, “management”, “biomass forest” e “impact”. Com base nestes termos experimentaram-se combinações diversas de termos e sintaxe lógica e analisaram-se os resultados obtidos a fim de definir a seleção de artigos mais ajustada ao objetivo do trabalho. Por exemplo, em combinação com outros termos, “bioenergy” tem menos

retorno do que “energy”, o segundo resultando em trabalhos inclusive na área de saúde. Também se avaliou o efeito das variações de palavras afins nos resultados. Por exemplo, foi observado que a substituição de “forest” por “forestry” resultava num maior retorno, selecionando publicações mais frequentemente dentro do tema da biomassa florestal para fins energéticos.

Esta etapa de definição dos termos foi relativamente exigente em tempo de dedicação, mas revelou-se de extrema importância para a seleção do conjunto de publicações ajustadas ao âmbito e objetivos do trabalho, nomeadamente para reduzir o número de trabalhos sem relação com a área de estudo, os quais, se inseridos na análise bibliométrica, iriam interferir de maneira muito negativa nos resultados.

A sintaxe utilizada na busca na base de dados Scopus para a selecção final de artigos foi a seguinte:

```
TITLE-ABS (biomass AND energy AND forestry) OR AUTHKEY (biomass AND energy AND forestry) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp"))
```

Onde TITLE-ABS é o campo do título e resumo, AUTHKEY é o campo das palavras-chave definidas pelos autores, LIMIT-TO um parâmetro que limita a pesquisa a critérios particulares, DOCTYPE é o campo do tipo de documento, AND e OR são operadores lógicos, “biomass”, “energy” e “forestry” são os termos usados nas buscas nos campos respetivos indicados anteriormente, “ar” são artigos e “cp” artigos de conferência.

Há avaliações da própria plataforma Scopus disponibilizadas em tabelas e gráficos que podem ser adaptadas pelo utilizador de acordo com as informações e layout que se deseja utilizar no trabalho. Estas possibilidades foram utilizadas na realização deste trabalho. A primeira avaliação refere-se à evolução temporal das publicações encontradas na pesquisa realizadas entre 1967 e 2020, o período considerado neste trabalho. As avaliações efetuadas na plataforma Scopus foram as seguintes:

1. Documentos por ano e por fonte,
2. Documentos por autor,
3. Documentos por afiliação,

4. Documentos por países território,
5. Documentos por tipo,
6. Documentos por área temática.

3.3 Exportação de dados

Os dados relativos aos documentos selecionados no Scopus foram exportados em formato CSV (comma-separated values) e posteriormente importados para processamento na folha de cálculo Excel e no programa VOSviewer. Os dados dizem respeito à descrição dos artigos selecionados com base nos termos e syntax indicados anteriormente, incluindo os seguintes campos: 1. Autor; 2. Título; 3. Ano; 4. Título da Fonte; 5. URL; 6. Afiliação; 7. Resumo; 8. Palavras-chave do autor; 9. Palavras-chave indexadas; 10. Língua; 11. Tipo de documento; e 12. Fonte da informação.

3.4 Correções de nomenclaturas

A verificação dos nomes de autores e instituições foi feita com recurso ao modelo de correção que está incluído nos ficheiros (thesaurus file) do programa VOSviewer. Este dicionário, em formato de texto, serve para inserir correções necessárias a fim de uniformizar variações na grafia e composição dos nomes de autores e instituições a fim de evitar múltiplas contagens dos mesmos (Figura 1). Foi utilizado neste trabalho para corrigir e uniformizar o nome dos autores e das instituições, usando-se o mesmo ficheiro. A correção foi realizada após inserir o documento com os dados extraídos da Scopus no VOSviewer. A partir das seleções desejadas no programa é possível extrair estas informações em formato.txt ou.csv.

Selected	Organization	Documents	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	agriculture et agroalimentaire canada, québec (q...	1	16
<input checked="" type="checkbox"/>	agronomie, inra, agroparistech, université paris-s		16
<input checked="" type="checkbox"/>	depe, inra, paris, 75007, france		16
<input checked="" type="checkbox"/>	economie publique, inra, agroparistech, universi		16
<input checked="" type="checkbox"/>	ecosys, agroparistech, inra, université paris-sacla		16
<input checked="" type="checkbox"/>	fare, inra, urca, reims, 51000, france		16
<input checked="" type="checkbox"/>	ispa, inra, bordeaux sciences agro, univ. bordeaux...	1	16
<input checked="" type="checkbox"/>	lef, inra, agroparistech, nancy, 54042, france	1	16
<input checked="" type="checkbox"/>	opaale, irstea, rennes, 35044, france	1	16
<input checked="" type="checkbox"/>	pegase, inra, agrocampus ouest, saint gilles, 3559...	1	16
<input checked="" type="checkbox"/>	sas, inra, agrocampus ouest, rennes, 35042, france	1	16
<input checked="" type="checkbox"/>	smart, inra, agrocampus ouest, rennes, 35011, fra...	1	16
<input checked="" type="checkbox"/>	sruc, land economy and environment research, e...	1	16
<input checked="" type="checkbox"/>	system, montpellier supagro, inra, cirad, montpell...	1	16
<input checked="" type="checkbox"/>	umrh, inra, vetagro sup, saint-genes-champanell...	1	16
<input checked="" type="checkbox"/>	ur sols, inra, orléans, 45075, france	1	16
<input checked="" type="checkbox"/>	urep, inra, clermont-ferrand, 63039, france	1	16
<input checked="" type="checkbox"/>	consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi del...	1	14
<input checked="" type="checkbox"/>	department of agriculture food and the marine, j...	1	14
<input checked="" type="checkbox"/>	department of marketing and production manag...	1	14

Figura 1 - Layout de seleção dos documentos por instituição do programa VOSviewer

Na posse destes dados, obteve-se a primeira lista com 1000 linhas que foram conferidas uma a uma para uniformizar a nomenclatura das instituições. A segunda lista dos autores também contou com 1000 linhas. Essa numeração foi atribuída por livre escolha, a fim de contar apenas com um número representativo e ao mesmo tempo dispor de uma quantidade suficiente para gerar gráficos de rede com as informações relevantes. Em ambas, no Excel foram comparadas nomenclaturas e uniformizadas posteriormente no documento de texto (Figura 2).

```
*thesaurus_authors - Bloco de Notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
label  replace by
calero, c      calero-medina, c
medina, cc    calero-medina, c
medina, cmc   calero-medina, c
moed, h      moed, hf
moed, hk      moed, hf
noyons, e     noyons, ecm
noyons, ec    noyons, ecm
tijssen, r    tijssen, rjw
vaneck, jn    van eck, nj
van leeuwen, t  van leeuwen, tn
vanleeuwen, t  van leeuwen, tn
vanleeuwen, tn  van leeuwen, tn
vanraan, a     van raan, afj
vanraan, afj   van raan, afj
vanraananton, fj   van raan, afj
van raan, a    van raan, afj
van raan, t    van raan, afj
```

Figura 2 - Dicionário para uniformização de dados de autores no programa VOSviewer

Depois de realizado este procedimento, foi obtido um novo documento com os nomes a serem substituídos. Este documento foi usado juntamente com o primeiro documento extraído do Scopus para análise no programa VOSviewer, assim indicando o documento contendo todas as informações e o documento com as correções desejadas em simultâneo.

3.5 Análises de dados

A análise de dados foi dividida em duas etapas: 1) descrição geral com base nos dados fornecidos diretamente pela plataforma Scopus e 2) análise de redes com recurso ao programa VOSviewer.

As primeiras análises, no Scopus, diretamente, ou com dados extraídos da plataforma, consistiram na contagem de artigos em periódicos e em conferência. Posteriormente consideraram-se informações sobre autores, áreas temáticas, países e regiões, instituições, idiomas e documentos. A distribuição da indexação dos documentos no decorrer do intervalo pré-estabelecido foi analisada graficamente. A distribuição dos países também foi feita com base em dados obtidos diretamente do

Scopus, remetendo os resultados em forma de tabela utilizados para a análise dos países de língua oficial portuguesa.

As análises no programa VOSviewer foram feitas após importação do ficheiro CSV exportado do Scopus e contendo os dados de 1244 documentos, selecionados. Em VOSviewer definiram-se os tipos e unidades de análise (individualmente para autores, países, instituições, documentos) a serem realizadas e os métodos de contagem (fracionário) para gerar os gráficos de rede. Também foi ativada a opção para considerar um número máximo de 25 autores por documento. Nalguns casos optou-se por ativar a visualização de todos os itens (por exemplo, Figura 10) enquanto noutros se optou por destacar apenas os itens mais fortemente relacionados (por exemplo, Figura 8).

Todas as análises tiveram em conta os atributos avaliados, que são disponibilizados de maneira geral para todo o gráfico, indicando a quantidade de itens, clusters, links e força total de links.

A análise de autores foi feita com base em co-autoria, citação, co-citação e acoplamento bibliográfico. Na avaliação de co-autoria, além do documento de base de dados foi selecionada o dicionário (thesaurus file) com a correção de nomenclatura dos autores. O número mínimo de documento por autor foi de 1 para ser considerado no gráfico de rede. Foi ativada a opção para mostrar os itens do conjunto mais fortemente relacionados e utilizadas duas opções de visualização, “Network Visualization” e “Overlay Visualization”, que, respetivamente, representam os clusters e avaliação temporal com paletes de cores diferentes com cores frias para os mais antigos e cores quentes mais os mais recentes. A análise de citação dos autores seguiu o mesmo processo mas considerando um número mínimo de 20 citações por autor.

A análise de co-citação foi realizada para perceber a relação e grau de ligação entre os autores com base nos documentos em que aparecem juntos. Foram indicados 50462 autores pelo VOSviewer, sendo selecionados 357 para compor o gráfico de rede. O número mínimo de citações por autor foi de 20 tendo como unidade de análise os autores citados. Foi selecionado o dicionário (thesaurus file) com a correção de nomenclatura dos autores. Não foi ativada a opção para mostrar os itens do conjunto mais fortemente relacionados e foi utilizada a opção de visualização “Network Visualization”.

A análise de acoplamento bibliográfico dos autores foi realizada para perceber a relação entre os mesmos, baseada no conjunto de documentos em que usam a mesma

base bibliográfica. Foram indicados os mesmos 50462 autores pelo VOSviewer, sendo selecionados 357 para o gráfico de rede.

A análise dos países foi feita considerando co-autoria, citação, co-citação e acoplamento bibliográfico, sendo observado os mesmos critérios da análise de autores. Na análise de co-autoria foram atribuídos, no mínimo, 5 documentos por autor sendo selecionados 1000 co-autores com as conexões mais sólidas dentre os 3701 que o VOSviewer encontrou, optando-se pela não inclusão de links na forma visual do gráfico com a visualização “Overlay Visualization”.

A análise de países para co-autoria baseia-se na seleção das nações que apresentassem no mínimo 5 publicações, sendo 45 de um total de 145 países mostrados no gráfico de rede. Duas formas de visualização foram selecionadas para observar em destaque os clusters formados (“Network Visualization”) e a sua evolução temporal (“Overlay Visualization”). A análise de países para citação foi apresentada determinando que os países deveriam ter, assim como na co-autoria, no mínimo 5 documentos. A visualização destes resultados foi feita em formato de tabela extraída do VOSviewer após aplicação dos critérios da análise. A análise de países por co-citação foi feita considerando um número mínimo de 20 citações por autor, de um total de 50462, sendo selecionados 357 para compor o gráfico de rede.

A análise de países por acoplamento bibliográfico também foi apresentada considerando um mínimo de 5 documentos por país, sendo atribuídos 46 itens para compor o gráfico de rede. Foi considerado que os links fossem mostrados utilizando a visualização de “Network Visualization”.

O gráfico de rede de palavras-chave estabelecido com base em co-ocorrência foi produzido considerando que os itens deveriam ser citados no mínimo 10 vezes, incluindo assim 341 termos de um total de 8029. Para o caso da co-ocorrência considerou-se itens citados 10 vezes, incluindo 341 termos de um total de 8029. Para este gráfico foram utilizadas três formas de visualização: “Network Visualization”, “Overlay Visualization” e “Density Visualization”.

O gráfico de rede de documentos estabelecido com base em citação considerando itens citados pelo menos 20 vezes inclui 305 documentos de um total de 1231. Para este gráfico foi utilizada a visualização do “Network Visualization” com visualização dos links. Foram avaliados também a quantidade de itens, clusters e links para perceber o comportamento da rede. A avaliação baseia-se na contagem de números

inteiros (quantidade de documentos citados) em oposição a pontuação “fractional counting”). Também foi laborado o gráfico de rede a partir da análise de acoplamento bibliográfico, considerando o número mínimo de 50 documentos para melhor visualização. Dos 1244 documentos foram selecionados 119 para o gráfico, atribuindo o método de contagem usual e definindo que os links fossem disponibilizados para visualização do tipo “Network Visualization”.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados de forma genérica de acordo com os dados numéricos obtidos diretamente da plataforma Scopus para o caso da cronologia, idiomas, áreas de estudo, autores, países, países de língua portuguesa e instituições e ainda com base nas análises de rede efetuadas no programa VOSviewer considerando co-autoria entre autores e países, co-ocorrência entre palavras-chave, acoplamento bibliográfico para autores, países e documentos, co-citação para autores, citação de autores, países e documentos e co-ocorrência de palavras-chave.

4.1 Descrição geral

A pesquisa efetuada resultou na seleção de 1244 documentos, dos quais 996 (80%) são artigos em periódicos e 248 (20%) artigos de conferência. As áreas científicas em que se enquadram são principalmente Ciência Ambiental (575 publicações), Energia (489 publicações) Agricultura e Ciências Biológicas (438 publicações) e Engenharia (146 publicações) (Figura 3; Tabela 1).

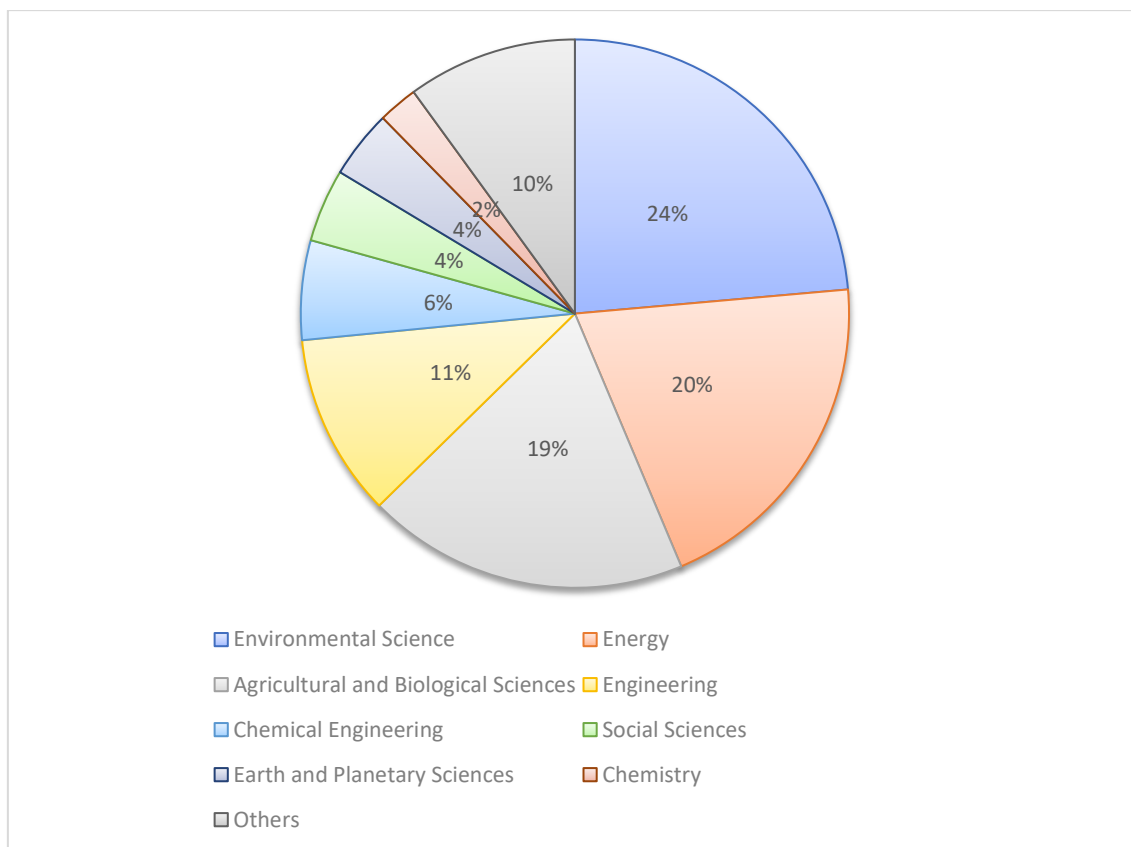


Figura 3 - Distribuição dos documentos selecionados (em porcentagem) por área científica.

Os 1244 trabalhos selecionados cobriram um total de 25 categorias temáticas (áreas científicas) genéricas embora incidam sobre áreas específicas como a fertilização, controle biológico, hidrologia, silvicultura, estudo de potencialidade de biomassa em diferentes países, armazenamento de carbono ou avaliação de impactos ambientais, que contribuem de diferentes maneiras para a investigação em biomassa florestal para fins energéticos.

Foi observado que vários documentos contribuem para mais do que uma área do conhecimento. Um conjunto de 14 sub-áreas encontram-se incluídas na categoria “outros” (Others).

A categoria que lidera o número de publicações é a Ciência Ambiental revelando que a perspectiva ambiental relacionada com as florestas e energia é dominante no âmbito da publicação científica. Indexados no Scopus, encontraram-se 575 documentos nesta categoria que representam 23.2% do somatório das frequências de todas as categorias (2437) entre 1978 e 2021.

Tabela 1 - Distribuição de documentos selecionados (em número) por área científica.

Área científica	Número de documentos
Environmental Science (Ciência Ambiental)	575
Energy (Energia)	489
Agricultural and Biological Sciences (Agricultura e Ciências Biológicas)	463
Engineering (Engenharia)	263
Chemical Engineering (Engenharia Química)	143
Social Sciences (Ciências Sociais)	105
Earth and Planetary Sciences (Ciências da Terra e Planetárias)	98
Chemistry (Química)	57
Others (Outros)	244
Total	2437

Energia contribui com 489 documentos (19.7%) o que seria de esperar dada a seleção de termos seguida neste trabalho. Agricultura e Ciências Biológicas surgem em terceiro lugar com 463 documentos (18.6%) indicando que a investigação sobre biomassa florestal para fins energéticos é relevante também nestes campos, nomeadamente ao nível de aspetos agronómicos, fisiológicos e genéticos.

4.1.1 Distribuição temporal

As publicações no tema têm início em 1966, embora em números modestos até ao início dos anos 2000, quando se observa uma rápida evolução no seu número, principalmente a partir de 2007 quando se publicaram 47 documentos, o dobro do número de 2006 (Figura 4). Os anos em que se obtiveram mais publicações foram os de 2019 e 2020, com 93 e 94 documentos, respetivamente.

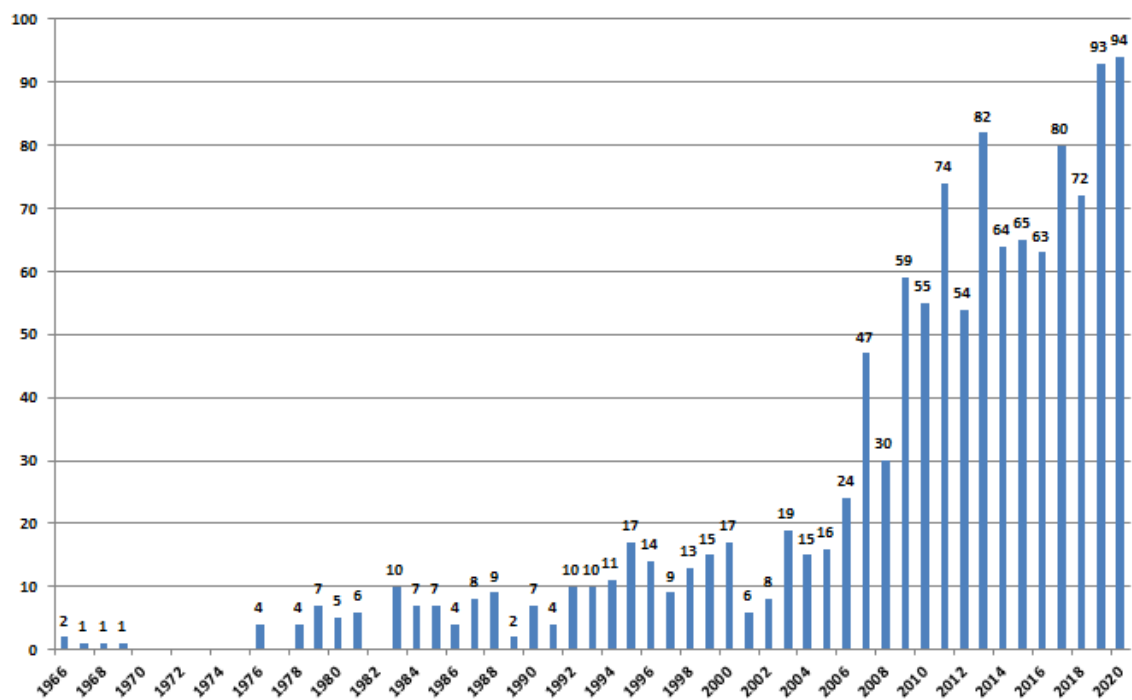


Figura 4 - Evolução do número de publicações selecionadas neste trabalho entre 1966 a 2020.

O primeiro estudo dentro da temática do presente trabalho (Tadaki e Kawasaki, 1966) foi publicado no Japão, no “Journal of the Japanese Forestry Society” em 1966, por Yoshiya Tadaki e Yoshinori Kawasaki, descrevendo a estrutura produtiva de povoamentos de alta densidade de *Cryptomeria japonica*. No mesmo ano, país e periódico foi também publicado por Tadaki, juntamente com Nobuo Ogata, Yasuo Nagomoto e Takehiko Yoshida, outro trabalho, neste caso sobre povoamentos de 45 anos de idade de *Chamaecyparis obtusa* (Tadaki et al., 1966).

Entre 1970 e 1975 não houve publicação de documentos, mas em 1976 foram publicados quatro documentos sobre o uso de biomassa para energia. Um dos trabalhos (Roscoe, 1976), desenvolvido nos EUA, avaliou durante 5 anos combustíveis de resíduos agrícolas e florestais e produção e conversão de biomassa terrestre e marinha.

Já no Canadá publicavam-se os primeiros resultados de investigações do tema, com enfoque na quantificação da capacidade de produção de fontes residuais agrícolas e florestais, biomassa provinda de ração, alimentos e madeira (Timbers, 1976).

Nos EUA uma linha de pesquisa direcionada ao desenvolvimento de um banco de dados informatizado a nível nacional, reuniu informações de inventários de resíduos

de colheita, produtos florestais, madeira e esterco de aves e gado para facilitar e contribuir com estes recursos energéticos alternativos (Alich, 1976).

Quanto aos artigos mais citados, Haberl et al., (2007) foi o trabalho com o maior número de citações, 882 no total. Este artigo tinha como objetivo quantificar e mapear a apropriação humana da produção primária líquida nos ecossistemas terrestres da Terra. Esta avaliação visava avaliar as pressões adicionais sobre os ecossistemas, concluindo que estas podem resultar no aumento da colheita de biomassa.

Com 481 citações, Franco et al., (2003) faz uma avaliação das reações que influenciam o processo de gaseificação da biomassa considerando que os resíduos de biomassa costumam ter um problema de disponibilidade devido às variações sazonais. Analisaram ainda a possibilidade de substituição de biomassa de uma espécie pela de outra, trabalhando com *Pinus pinaster* (conífera), *Eucalyptus globulus* e *azinha* (folhosa), pretendendo não alterar a qualidade do gás obtido e concluindo que uma espécie pode substituir a outra, já que não há diferenças significativas quanto à natureza da biomassa das espécies.

A publicação de Wyman (1999), com 467 citações, é dedicada à percepção do progresso técnico, oportunidades e desafios comerciais do etanol de biomassa lignocelulósica. Conclui que na obtenção de etanol houve imenso avanço nas tecnologias, mas que a produção ainda tem de ter menor custo de investimento para o seu uso ser mais rentável, pelo que seria interessante que os processos apresentem mais rendimento. Além disso, profissionais, especialistas e incentivos fiscais também devem ser aprimorados para tornar mais acessível e promissor o uso do etanol.

Com 465 citações, a publicação de Slopiecka et al., (2012) aborda a análise termogravimétrica e o estudo cinético da pirólise da madeira da espécie choupo (indicar nome da espécie) descrevendo matematicamente o processo de desvolatilização por uma única reação de primeira ordem. Os resultados do estudo cinético podem ser usados na modelação do processo de desvolatilização por meio de dinâmica de fluidos computacional (CFDs) para simular balanços de massa e energia.

O gráfico da Figura 4 evidencia um claro aumento de publicações ao longo dos anos, principalmente a partir de 2005, quatro anos após o referendo do Protocolo de Quioto sobre a redução das emissões de gases com efeito de estufa. Segundo o protocolo, os países que tivessem grandes áreas florestadas, que absorvem naturalmente o CO₂, poderiam usar essas florestas como crédito em troca do controlo das suas

emissões. Este evento mundial pode estar relacionado com o aumento de publicações após 2005.

Adedayo et al., (2021) apontam que o crescimento de publicações a partir de meados de 2003 na Nigéria, ocorreu devido à construção de quatro centros de investigação novos que contribuíram significativamente para o aumento do volume de publicações sobre o assunto. Mao et al. (2015) observam o mesmo fenómeno cuja origem atribuem ao crescimento de atenção global sobre o assunto das energias renováveis, incluindo a biomassa.

4.1.2 Documentos

Os 20 documentos mais citados, totalizando 6432 citações, são apresentados na Tabela 2. O documento mais citado (Haberl et al. (2007), com 882 citações, faz uma abordagem à biomassa numa perspetiva diferente da dos restantes 19 documentos, considerando as consequências das atividades humanas sobre o uso dos ecossistemas da Terra. O segundo artigo mais citado (Franco et al., 2003), com 481 citações investiga os processos de conversão da biomassa em energia, sendo esta linha de investigação seguida por muitos autores, conforme observado na Tabela 2. O trabalho de Wyman (1999) dirige-se a questões mais práticas e de gestão no processo de conversão de biomassa em biocombustível.

Tabela 2 - Os 20 documentos mais citados na plataforma Scopus no tema de uso de biomassa para fins energéticos de acordo com a seleção feita neste trabalho. Utilizou-se a abreviatura et al. para as publicações com mais do que três autores. Para a lista completa

Autores	Título	Periódico	Ano	Citações
Haberl H., Erb K.H., Krausmann F. et al.	Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	2007	882
Franco C., Pinto F., Gulyurtlu I., et al.,	The study of reactions influencing the biomass steam gasification process	Fuel	2003	481
Wyman C.E.	Biomass ethanol: Technical progress, opportunities, and commercial challenges	Annual Review of Energy and the Environment	1999	467

Autores (Continuação)	Título (Continuação)	Periódico (Continuação)	Ano (Continuação)	Citações (Continuação)
Slopiecka K., Bartocci P., Fantozzi F.	Thermogravimetric analysis and kinetic study of poplar wood pyrolysis	Applied Energy	2012	465
Yevich R., Logan J.A.	An assessment of biofuel use and burning of agricultural waste in the developing world	Global Biogeochemical Cycles	2003	413
Carrier M., Loppinet-Serani A., Denux D., et al.,	Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass	Biomass and Bioenergy	2011	391
Scarlat N., Dallemand J.-F., Monforti-Ferrario F., et al.,	The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts	Environmental Development	2015	379
Faaij A.P.C.	Bio-energy in Europe: Changing technology choices	Energy Policy	2006	377
Wyman C.E.	Ethanol from lignocellulosic biomass: Technology, economics, and opportunities	Bioresource Technology	1994	366
Tubiello F.N., Salvatore M., Rossi S., Ferrara A., et al.,	The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture	Environmental Research Letters	2013	255
Carriquiry M.A., Du X., Timilsina G.R.	Second generation biofuels: Economics and policies	Energy Policy	2011	251
Spliethoff H., Hein K.R.G.	Effect of co-combustion of biomass on emissions in pulverized fuel furnaces	Fuel Processing Technology	1998	233
Heaton E.A., Clifton-Brown J., Voigt T.B., et al.,	Miscanthus for renewable energy generation: European Union experience and projections for Illinois	Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change	2004	207
Hein K.R.G., Bemtgen J.M.	EU clean coal technology - Co-combustion of coal and biomass	Fuel Processing Technology	1998	195
Borjesson P.I.I.	Energy analysis of biomass production and transportation	Biomass and Bioenergy	1996	188

Autores (Continuação)	Título (Continuação)	Periódico (Continuação)	Ano (Continuação)	Citações (Continuação)
Amidon T.E., Wood C.D., Shupe A.M., et al.,	Biorefinery: Conversion of woody biomass to chemicals, energy and materials	Journal of Biobased Materials and Bioenergy	2008	186
Wyman C.E.	Potential synergies and challenges in refining cellulosic biomass to fuels, chemicals, and power	Biotechnology Progress	2003	184
Smeets E.M.W., Faaij A.P.C.	Bioenergy potentials from forestry in 2050: An assessment of the drivers that determine the potentials	Climatic Change	2007	180
Stupak I., Asikainen A., Jonsell M., et al.,	Sustainable utilization of forest biomass for energy-Possibilities and problems: Policy, legislation, certification, and recommendations and guidelines in the Nordic, Baltic, and other European countries	Biomass and Bioenergy	2007	179
Ferreira-Leitao V., Gottschalk L.M.F., Ferrara M.A., Nepomuceno et al.,	Biomass residues in Brazil: Availability and potential uses	Waste and Biomass Valorization	2010	153

4.1.3 Autores

A avaliação dos autores permitiu identificar os que mais contribuíram para as publicações selecionadas (Tabela 3). Destacam-se André P.C. Faaij, da Universidade de Groningen (Holanda), D.O. Hall e C.P. Mitchel com 9 documentos cada.

Tabela 3 - Número de publicações selecionadas neste trabalho por autor.

Autor	Número de documentos
Faaij, A.P.C.	9
Hall, D.O.	9
Mitchell, C.P.	9
Spinelli, R.	8
Zhang, X.	8
Pari, L.	7
Wang, X.	7
Zhang, Y.	7
Gallucci, F.	6
Grassi, G.	6
Kaltschmitt, M.	6

Autor (Continuação)	Número de documentos (Continuação)
Kellomäki, S.	6
Liu, S.	6
Silva, P. D.	5
Domac, J.	5
Li, Y.	5
Madyira, D.M.	5
Mateos, E.	5
Sims, R.E.H.	5
Tadaki, Y.	5
Wang, Z.	5
Yamagata, Y.	5
Yao, Z.	5
Zhao, L.	5
Aruga, K.	4
Börjesson, P.	4
Civitarese, V.	4
Cotana, F.	4
Dalai, A.K.	4
Facciotto, G.	4
Garrido, R.	4
Gustavsson, L.	4
Hernández, J.J.	4
Lapuerta, M.	4
Li, H.	4
Li, S.	4
Li, Z.	4
Luhr, H.R.	4
Manzone, M.	4

4.1.4 Países e regiões

Os registros brutos encontram-se distribuídos por 122 países, dos quais 20 concentram 92% do total das publicações selecionadas no Scopus (Tabela 4).

Os EUA são responsáveis por 174 publicações, 14% do total de documentos publicados, seguidos pela Itália (9,34%), China (8,53%), Reino Unido (6,28%), Alemanha (5,47%), Suécia (5,23%), Espanha (4,99%), Canadá (4,51%) e Finlândia (3,46%). Dos países cuja língua oficial é o português, apenas foram selecionadas publicações de Portugal (32 publicações; 2,57%), Brasil (30; 2,41%) e Moçambique (4; 0,32%).

Os estudos de Chen et al., (2015) também apontaram os EUA como o país responsável pela maior parte dos artigos publicados, seguidos pelo Reino Unido, Alemanha, Canadá e Países Baixos. Comparativamente com os resultados deste trabalho, os cinco primeiras posições divergem para o caso da Itália e da China. A Itália não era tão ativa nos estudos de Chen et al. (2015), na décima quarta posição do ranking dos 20 países com mais número de publicações. Neste trabalho a Itália ocupa a terceira posição no ranking dos 20 países. Já a China, ocupa a 9º posição na pesquisa de Chen et al. (2015).

Tabela 4 - Ranking dos 20 países com mais documentos publicados na base de dados Scopus de acordo com a seleção efetuada neste trabalho.

Ordem	País	Número de documentos
1	Estados Unidos da América	174
2	Itália	116
3	China	106
4	Reino Unido	78
5	Alemanha	68
6	Suécia	65
7	Espanha	62
8	Canadá	56
9	Finlândia	54
10	Áustria	43
11	Japão	43
12	Índia	41
13	Países Baixos	35
14	França	32
15	Portugal	32
16	Austrália	30
17	Brasil	30
18	Turquia	23
19	Polónia	22
20	Noruega	17

Do total de documentos indexados selecionados neste estudo, 57% foram desenvolvidos na Europa, 18% na América do Norte, 14% na Ásia, 6% na Oceania, 4% na América do Sul e 2% em África. O mapa da Figura 5 ilustra a distribuição de publicações em diferentes regiões e continentes em que se destacam os EUA e a China, duas potências mundiais em investigação no tema.

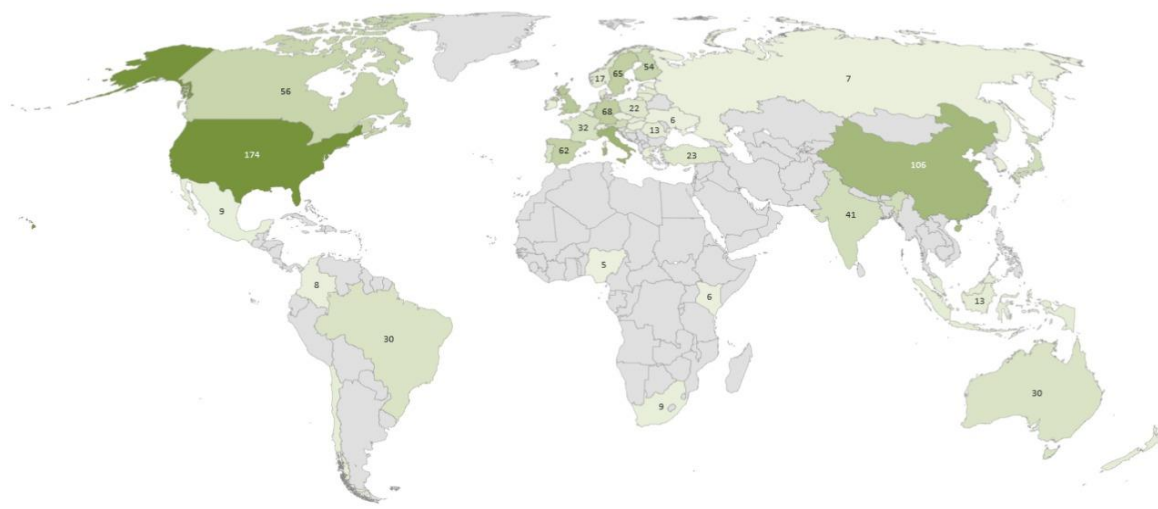


Figura 5 - Mapa da distribuição das publicações sobre biomassa para energia selecionadas neste trabalho por países.

4.1.5 Idiomas

Tabela 5 - Números de documentos publicados em cada idioma.

Idioma	Número de documentos
Inglês	1119
Chinês	31
Alemão	23
Francês	12
Espanhol	9
Croata	7
Japonês	7
Português	6
Italiano	5
Polaco	5
Finlandês	3
Eslovaco	3
Coreano	2
Bósnio	1
Checo	1
Estónio	1
Lituano	1
Sueco	1
Indefinido	15

O idioma mais utilizado nas publicações selecionadas na base de dados Scopus é o inglês, com 1119 documentos (90%), seguido do chinês (31; 2,5%) e do alemão (23; 1,85%) (Tabela 5). Apenas 6 documentos estão publicados em língua portuguesa.

Mao et al., (2018) também observaram que o inglês era o idioma mais utilizado em documentos (98,06%), para além do polaco (0,36%), espanhol (0,35%), português (0,30%), alemão (0,27%), francês (0,23%) e chinês (0,20%). A língua inglesa é a mais utilizada por ser a linguagem padrão em publicações científicas de cunho internacional, para além de incluírem a secção de “Abstract”, presente em todos os documentos indicados neste levantamento.

4.1.6 Instituições

Relativamente às instituições, a Universidade Sueca de Ciências Agrárias (Sveriges Lantbruksuniversitet) está muito à frente no número de publicações. Seguem-se duas instituições filandesas (Itä-Suomen yliopisto e Natural Resources Institute Finland - Luke) o que faz com que as três instituições líderes no tema da biomassa para energia sejam escandinavas (Figura 6). O desempenho das instituições na pesquisa de Mao et al., (2018) sobre revisão bibliométrica para energia provinda de biomassa, encontrou como as cinco mais produtivas Chinese Academy of Sciences (China), Swedish University Agricultural Science (Suécia), University of Illinois (EUA), Tsinghua University (China) e University of Minnesota (EUA). Estes resultados divergem dos desta pesquisa devido à base de dados usada na sua publicação, Web Of Science, ao período entre 1998 e 2017 e as palavras-chave “Biomass Energy” e “Environment”. Chen e Ho (2015) definiram uma metodologia de pesquisa de publicações em áreas mais abrangentes, incluindo não somente o aspeto energético da biomassa, mas também os sub-produtos, tecnologias de refinamento e derivados, incluindo 40 palavras-chaves para a prospeção resultando em 187,407 documentos, dos quais apenas 3407 (1,8%) foram selecionados para análises estatísticas. Concluíram que as instituições mais participativas são americanas (15 entre 21 no total) sendo a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), Universidade Estadual do Oregon e a Universidade de Washington as mais produtivas. As não-americanas incluíam, em 14º, a Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Austrália, em 16º o Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

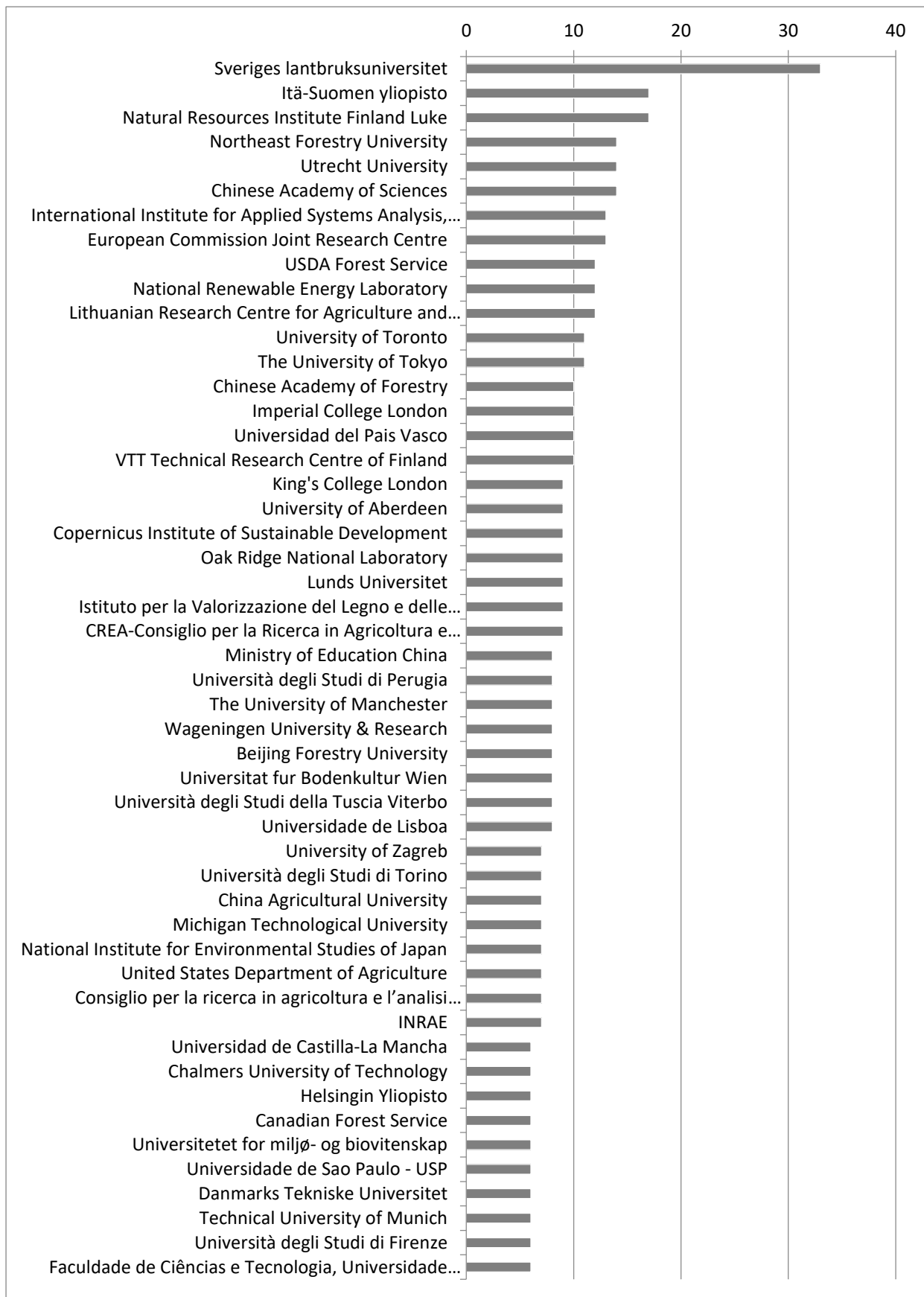


Figura 6 - Número de publicações por instituição no conjunto de documentos selecionados.

4.1.7 Países de língua oficial portuguesa

Ao nível dos países de língua oficial portuguesa, como referido em 4.1.4, apenas Portugal, Brasil e Moçambique publicaram nesta área, respectivamente, 32, 30 e 1 documentos. Quanto a avaliação por instituição observou-se que a Universidade de Lisboa e a Universidade de São Paulo foram as mais produtivas contribuindo com 8 e 6 documentos, respetivamente (Tabela 6) a seguir mostra em ordem decrescente 25 das instituições presentes, sendo estas:

Tabela 6 - Número de documentos publicados por instituição nos países de língua oficial portuguesa.

Instituição	Número de documentos
Universidade de Lisboa	11
Universidade de São Paulo	6
Universidade Federal do Paraná	5
NOVA School of Science and Technology	5
Universidade do Estado de Santa Catarina	5
Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa	5
Universidade Estadual de Campinas	5
Instituto Politécnico de Portalegre, Escola Superior de Saúde	4
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa	4
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro	4
Laboratório Nacional de Energia e Geologia	4
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Centro de Investigação e de Tecnologias Agroambientais e Biológicas	4
Universidade Federal do Rio de Janeiro	3
Universidade Federal de São Carlos	3
Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação	3
Universidade do Estado do Rio de Janeiro	2
Universidade Estadual Paulista (UNESP)	2
Instituto Politécnico de Viseu	2
Universidade Federal de Lavras	2
Universidade Federal de Santa Maria	2
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca	2
Centro de Pesquisas do Cacau	1
Escola Superior Agrária de Ponte de Lima	1

Os demais países de língua oficial portuguesa não apresentaram documentos publicados sobre o assunto no database Scopus.

4.2 Análise de redes

A análise das redes foi realizada considerando os 1244 documentos extraídos da plataforma Scopus. Os gráficos de rede enfatizam a importância relativa dos itens e a relação entre eles expressa através de links e nós.

4.2.1 Documentos

Rastrear os principais documentos publicados pelos autores no campo de pesquisa de biomassa florestal para fins energéticos é uma maneira eficiente de encontrar relações entre publicações e autores. A Figura 7 apresenta o gráfico de rede de citação dos documentos, apresentando o nome dos autores, ano de publicação do documento, clusters formados e links. No VOSviewer foram ainda avaliados a quantidade de itens, clusters, links e peso total de links.

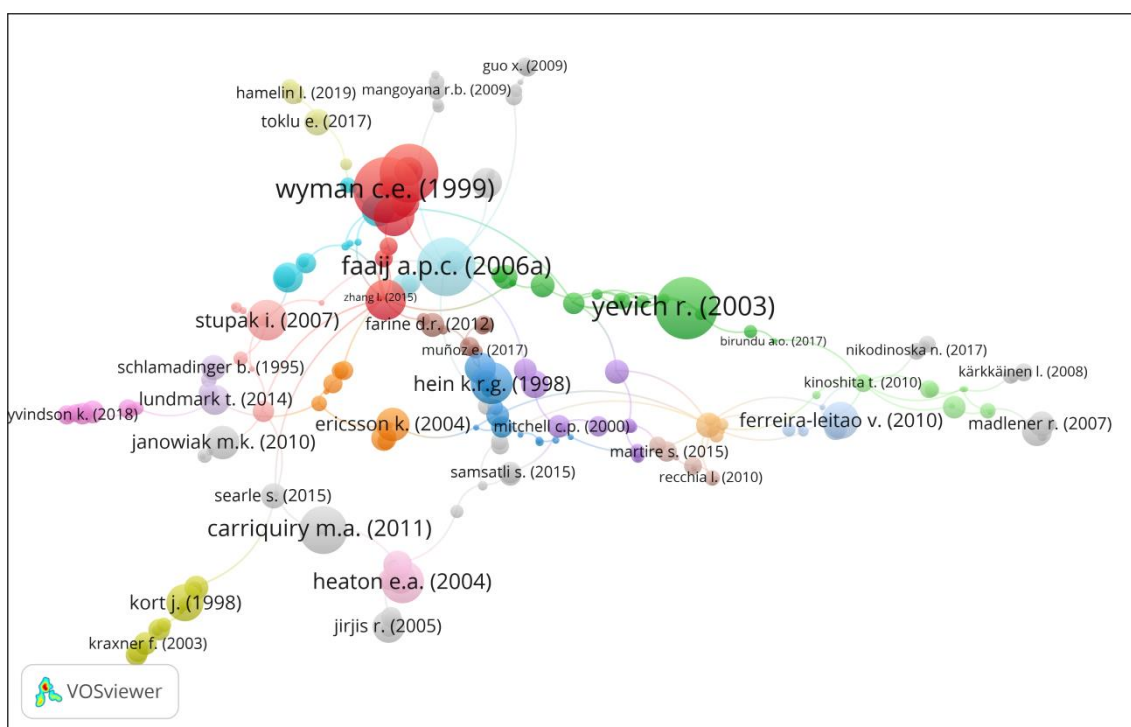


Figura 7 - Mapa de rede documentos com base em citação. Cores diferentes indicam clusters distintos de publicações.

A partir da análise de rede do VOSviewer construída com base nos critérios definidos na metodologia, o documento que mais recebeu maior destaque foi do autor Charles Wyman da Universidade da Califórnia (University of California) (Wyman,

1999) que recebeu 467 citações de outros documentos. Este mesmo autor aparece com mais dois documentos muito citados, o artigo “Biomass Ethanol: Technical Progress, Opportunities, and Commercial Challenges” e “Potential Synergies and Challenges in Refining Cellulosic Biomass to Fuels, Chemicals, and Power”. A da autora Rosemarie Yevich da Universidade de Harvard (Harvard University) tal como o artigo “An assessment of biofuel use and burning of agricultural waste in the developing world” e de André Faaij aparecem igualmente com elevado destaque e importância no gráfico de citações (Figura 8):

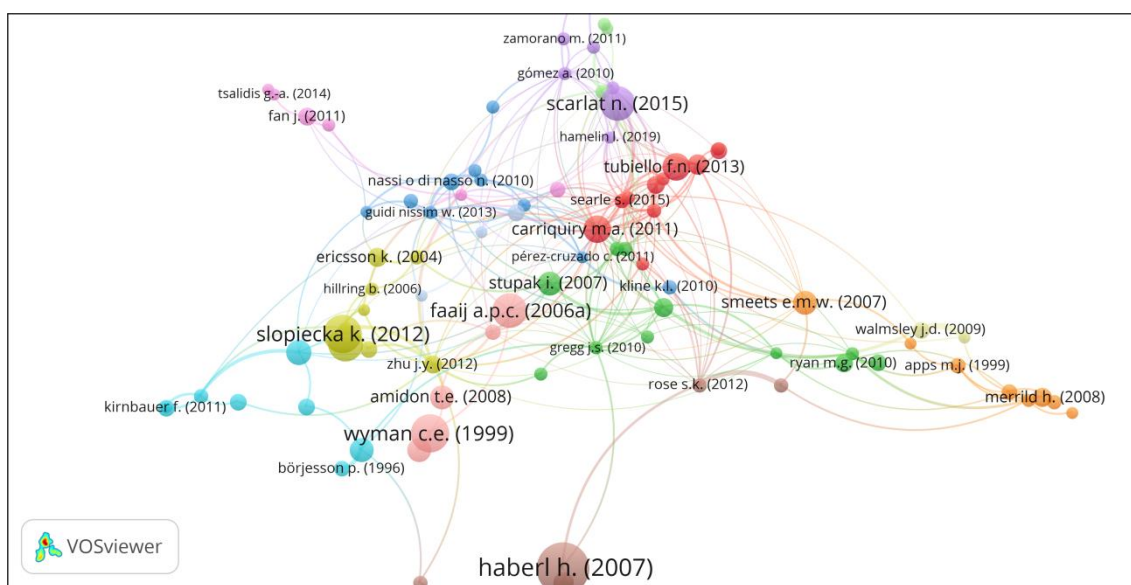


Figura 8 - Mapa da rede de documentos com base em acoplamento bibliográfico. Cores diferentes indicam clusters distintos de publicações.

O gráfico de rede baseado em acoplamento bibliográfico dos documentos mostra os mais significativos do conjunto, sendo que para o documento do autor Helmut Haberl “Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems” aparece com 4 links com outros itens. É interessante comparar este resultado com do autor André Faaij “Bio-energy in Europe: changing technology choices” pois tem mais links com outros itens (10) e encontra-se mais próximo do que os documentos com mais notoriedade no gráfico (clusters castanho).

O gráfico expressa a proximidade entre publicações conforme as referências usadas. Quanto mais próximo uma publicação se encontra de outra na rede, mais

documentos de referência em comum partilham. Assim, verifica-se que em cada cluster indicado com cores diferentes, os autores compartilham um meio académico comum, podendo ser no mesmo país ou mesma instituição ou não.

É válido apontar que muitos autores que não foram inclusos neste gráfico também têm relevância e importância no tema, porém como foi pré estabelecido um critério para citação, autores com atividades mais recentes ainda não são representados. Como é o caso dos estudos de Gagliano et al., (2017) intitulado “Development of an Equilibrium-based Model of Gasification of Biomass by Aspen Plus”, com metodologia realizada a partir de um software utilizado na indústria química, que recebeu 33 citações e tem 3 links com outros itens do gráfico de rede. Outro estudo de Forster et al., (2020) intitulado “Mapping feasibilities of greenhouse gas removal: Key issues, gaps and opening up assessments” que recebeu 40 citações de outros documentos e não tem nenhum link de ligação com outros itens.

4.2.2 Autores

Rastrear os principais autores de determinado campo de investigação e as relações entre eles é uma maneira eficiente de compreender e entender a produtividade e colaboração de autores e grupos de pesquisa.

As redes de co-autoria são úteis para visualizar as relações entre os pesquisadores que trabalham com temas relacionados com o uso de biomassa florestal para fins energéticos. No caso da presente análise foram selecionados 1000 coautores com as conexões mais sólidas dentre os 3701 selecionados, sendo então possível analisar de forma precisa os grupos com as principais ligações, filtrando aqueles com conexões menos expressivas ou nulas para melhor contraste visual gráfico.

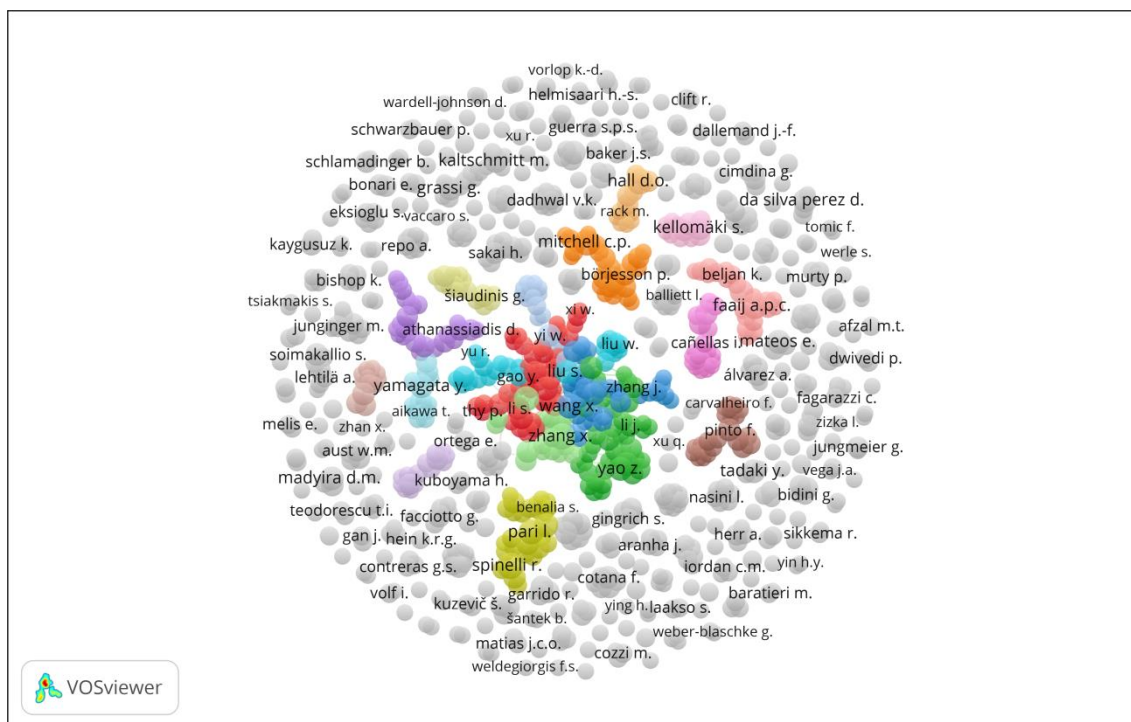


Figura 9 - Gráfico de rede de co-autoria em publicações sobre o tema da biomassa para energia. Cores diferentes indicam clusters distintos de autores.

Na Figura 9 observam-se 280 clusters de autores (nomes identificados no gráfico), sendo os principais indicados por cores particulares ficando a cinza os grupos de menor importância. Os autores cujos nomes surgem em letra de dimensão superior e se encontram no centro do gráfico são os que possuem maior número de co-autorias com outros autores.

Os clusters de colaboração entre autores que se encontram no centro representam autores de países asiáticos (azul claro, azul escuro, vermelho e verde). O cluster amarelo inclui autores italianos, o laranja representa australianos, suecos e britânicos, o castanho autores portugueses, o roxo inglês, finlandeses e dos Países Baixos, o rosa espanhóis e dos Países Baixos e o laranja representa escoceses.

É possível observar uma frente de pesquisa de maior nível de colaboração entre pesquisadores asiáticos representados na posição central que, apesar de não serem apresentados no gráfico o número máximo de documentos publicados (8), apresentam a maior rede de co-autoria. Wang X., Wang Z. e Zhang X. formam uma forte rede de cooperação entre eles. Esta cooperação é indicada pela aproximação entre os mesmos e a posição central que ocupam no gráfico. Além disso, as cores indicam os clusters com

um forte intercâmbio de informação entre autores. A ferramenta VOSviewer distingue os autores que apareceram nos clusters azul, verde e vermelho pelos sobrenomes e iniciais. Muitos nomes, porém, apesar de corresponderem a autores diferentes são representados pelo mesmo par de inicial e sobrenome. No caso de Zhang, por exemplo, existem 6 autores possíveis: Xiaofeng Zhang, Xinghua Zhang, Xuesong Zhang, Xianwen Zhang, Xirui Zhang e Xun Zhang. Nesta situação não foi destacado o nome dos autores.

Outro cluster observado é o de Paul Mitchell, da Universidade de Aberdeen (University of Aberdeen), que tem 9 documentos publicados (o número mais alto encontrado na seleção), sendo um autor com uma forte influência no Reino Unido em co-autoria direta com outros 6 autores e indireta com muitos outros, como Gustavsson da Universidade Linnaeus (Linnaeus University) e Börjesson da Universidade de Tecnologia de Chalmers (Chalmers University of Technology).

O autor André Faaij (em rosa fraco) da Universidade de Groningen, (University of Groningen), Países Baixos, publicou 9 documentos (máximo nesta seleção) em co-autoria direta com outros 9 autores, incluindo Lewandowski, da Universidade de Hohenheim (Universität Hohenheim,), Alemanha, Van dan, da empresa holandesa de Consultoria Jinke van Dam (Jinke van Dam Consultancy BV) e Turkenburg, da Universidade de Utrecht (Utrecht University), Países Baixos. Também tem colaboração com pesquisadores da Croácia e Bósnia, como Krpan do Instituto Florestal da Croácia (Hrvatski Sumarski Institut).

Representado pela cor rosa, o cluster de pesquisadores de Espanha apresenta número reduzido de publicações, sendo que a autora Clara Serrano da Universidade de Aston (Aston University) desenvolveu um dos primeiros trabalhos com o autor Hernández da Universidade de Castilla-La Mancha (Universidad de Castilla-La Mancha) no ano de 2005. Por intermédio da co-autora Magín Lapuerta, também da Universidade de Castilla-La Mancha, a autora Esperanza Monedero desenvolveu os trabalhos mais recentes em 2016.

O autor Hall do Reino Unido (King's College London) apresenta uma parceria antiga de co-autoria com o autor indiano Nijavalli Ravindranath do Instituto Indiano de Ciência e com diversos autores de universidades de Londres com pesquisas mais recentes a partir de 2015.

Na parte inferior do gráfico, representada pela cor amarela, os autores da Itália apresentam uma rede generosa de co-autorias. Raffaella Spinelli, do Instituto de Bioeconomia (CNR IBE) tem 8 documentos publicados em 7 co-autorias, em maioria com autores da Itália, mas também de outros países. Em Itália é nítido como a partir de 2010 as pesquisas tiveram um salto e continuam ainda sendo desenvolvidas por autores como Laura Tomassetti da Universidade de Modena e Reggio Emilia (Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia) e Valerio Paolini do Conselho Nacional de Pesquisa (Consiglio Nazionale delle Ricerche).

Foi identificado um cluster de autores de Portugal representado pela cor castanha. Filomena Pinto, com 4 documentos, apresenta-se como a mais representativa, em co-autoria direta com Pedro Abelha, Carlos Franco, Ibrahim Gulyurtlu e Isabel Cabrita, do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Maria Gonçalves do Instituto Politécnico de Portalegre, e Maria Bernardo e Nuno Lapa, da Universidade NOVA de Lisboa. Também pertence a este cluster Pereira, da Universidade de Toronto (University of Toronto), Canadá, e Enrique Ortega, da Universidade Estadual de Campinas, Brasil, que está próximo dos autores de língua portuguesa.

É interessante verificar que com o gráfico de redes de co-autoria é possível averiguar quão uma rede de co-autoria pode ser ampla, tal como acontece com Yoshiaki Yamagata, do Instituto Nacional de Estudos Ambientais do Japão (National Institute for Environmental Studies of Japan), que publica em parceria com Pablo Benítez, da Universidade de Carleton, Canada (Carleton University), Ian McCallum, do Instituto Internacional de Análise Aplicada de Sistemas, Austria (International Institute for Applied Systems Analysis), Ewald Rametsteiner das Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, Itália (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Michael Obersteiner, do Instituto Internacional de Análise Aplicada de Sistemas, Austria (International Institute for Applied Systems Analysis) e Dmitry Rokityanski da Academia Russa de Ciências (Russian Academy of Sciences).

A mesma rede apresentada da Figura 9 pode ser analisada de forma cronológica (Figura 10). A avaliação temporal é indiada pelas variações entre a cor amarela (autores com publicações mais recentes) e a azul (mais antigas).

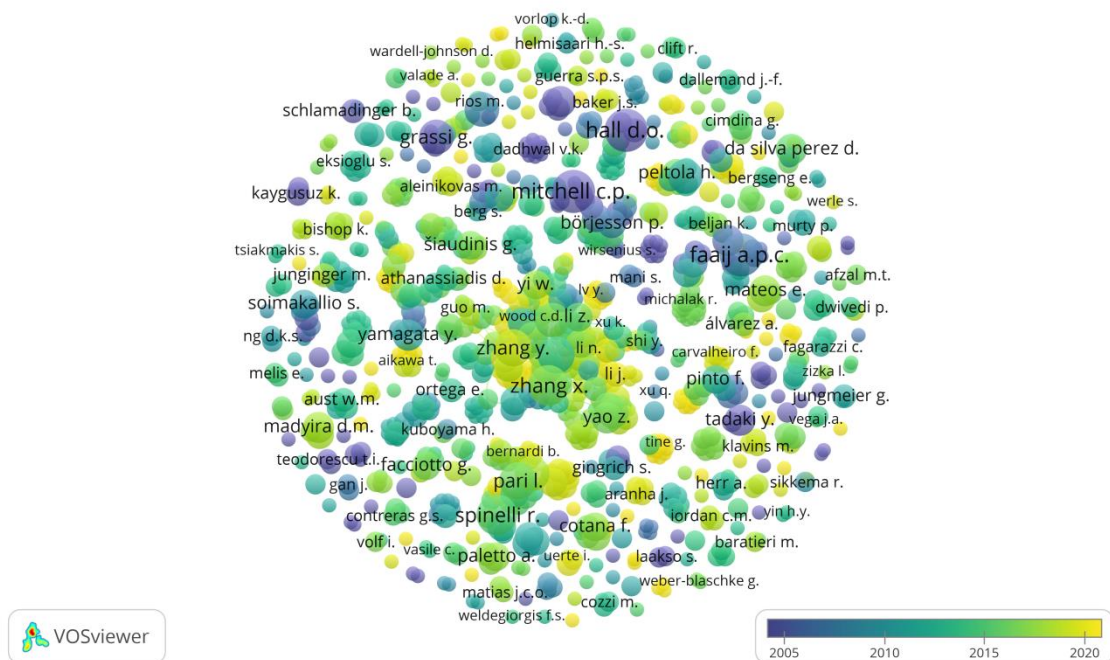


Figura 10 - Rede de co-autoria com informação dos períodos de publicação. Amarelo indica datas mais recentes (2020) e azul datas mais antigas (2005).

A análise de redes de autores baseadas em citações (Figura 11) revela a influência de Zhang X que é citado 53 vezes por outros autores. Hall, Mitchell, Galucci e Kaltschmitt são citados, respectivamente, 9, 10, 48 e 25 vezes.

Novas publicações apresentam uma probabilidade menor de serem citadas e por isso a citação no momento em que é usada como medida da influência pode ser tendenciosa para publicações mais antigas.

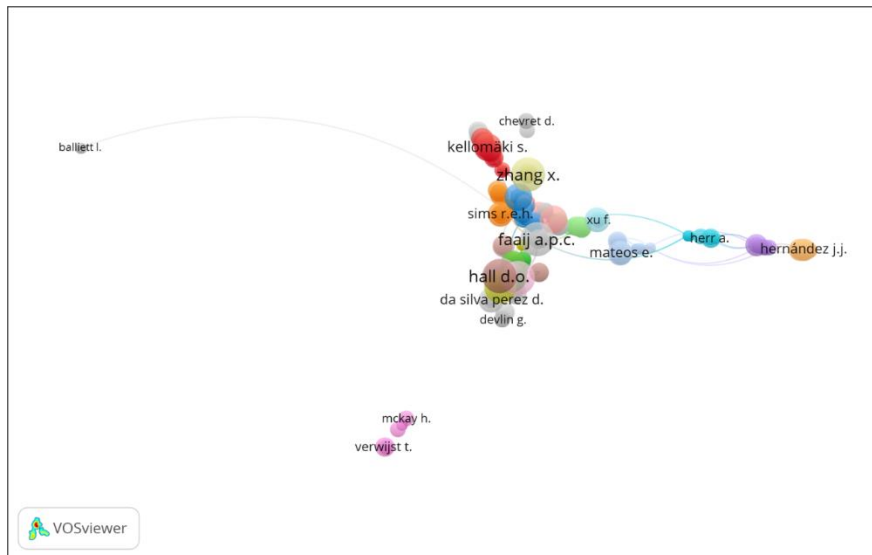


Figura 11 - Gráfico de rede de autores com base em citação.

A análise de redes de autores com base em citação (número mínimo de 20 citações e 1 documento por autor), identificou 31 clusters relativos ao número de ocorrências conjuntas em listas de referências (Figura 12). No cluster representado em azul, André Faaij tem 64 links de citações. O cluster a laranja Spinelli, com 8 documentos publicados na amostra, apresenta 14 links de citações e com o número alto de documentos (8).

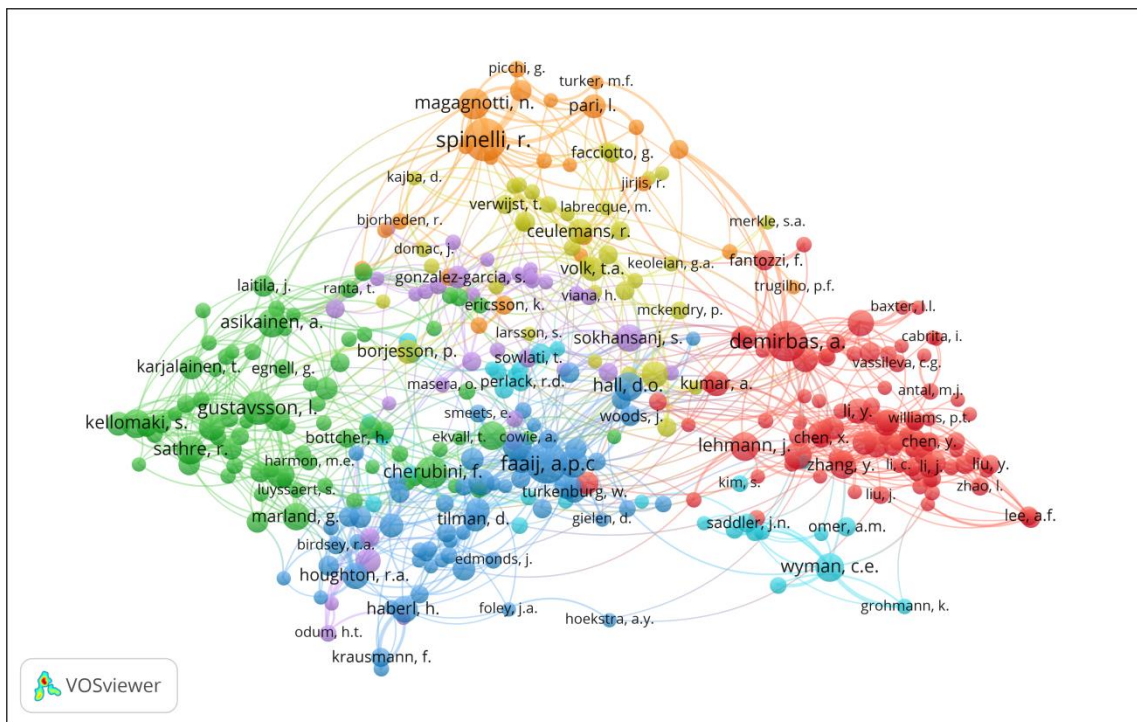


Figura 12 - Gráfico de rede de autores baseado em co-citação. Cores representam clusters de autores.

No gráfico de co-citação é possível observar 5 clusters. Para cada um dos clusters, tem-se então a aproximação entre os autores co-citados, sendo que esta distância varia conforme o número de documentos citados simultaneamente diminuindo-se o grau de ligação entre dois ou mais artigos.

4.2.3 Países

A rede de itens países, em termos de produção bibliométrica sobre o tema de biomassa florestal para fins energéticos baseada em co-autoria, é representada no gráfico da Figura 12. Esta análise baseia-se nos dados das nações que possuem no mínimo 5 publicações. Foram formados 8 clusters indicados por cores distintas. Estes apontam para grupos de países de maior produtividade bibliográfica. Destacam-se os clusters constituídos pelos EUA, China, Austrália e Canadá (azul escuro), Itália, Índia, Rússia, Reino Unido e México (azul claro), Noruega, Finlândia, Lituânia, Estónia, Letónia, Noruega, Irlanda e Suécia (vermelho), Quênia, Dinamarca, África do Sul, Brasil e Polónia (roxo), Espanha, Chile, Colômbia, México, Bélgica e Ucrânia (laranja), Portugal, França, Grécia e Suíça (castanho), Croácia, República Checa, Áustria e Hungria (amarelo), e Alemanha, Roménia, Japão, Indonésia, Malásia, Nigéria e Turquia (verde).

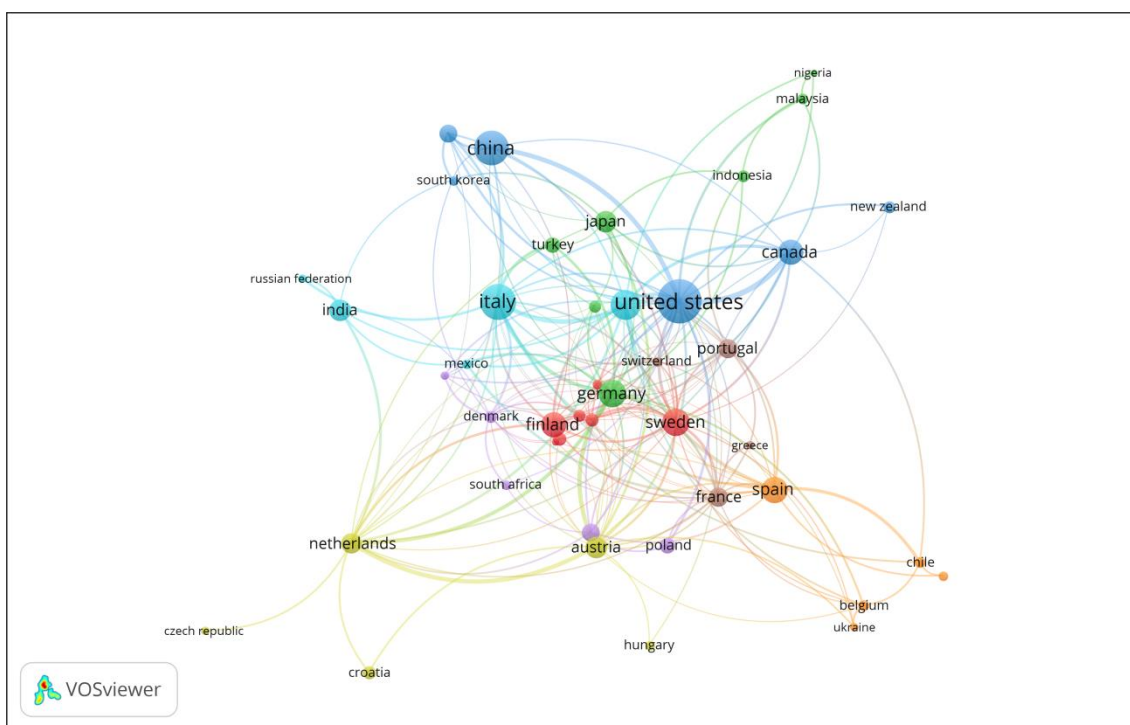


Figura 13 - Gráfico de rede de países com base em co-autoria. Cores diferentes representam clusters diferentes.

Os EUA são representados com o maior círculo no centro do gráfico, indicando que este é o país com maior peso em termos de co-autoria. Os EUA possuem ligações com 25 outros países através de 174 links.

Itália e China apresentam um peso próximo. Enquanto a Itália tem maior índice de colaboração com outros países, 21 links a China tem 9 links.

Estes resultados indicam que os países que tem mais expressão em termos de publicações tendem a cooperar mais com outros países, sendo tal de fundamental importância para o enriquecimento científico. O link entre China e EUA (6 documentos) é muito relevante e demonstra cooperação entre estas duas potências mundiais.

Nota-se que os EUA lideram sua posição principalmente pelas citações. Também há um número elevado de citações na Itália, Áustria e Alemanha (Tabela 7).

Tabela 7 - Ranking dos países por atributo Força Total de Link com base em co-autoria com indicação do número de documentos e citações.

País	Documentos	Citações	Força Total de Link
EUA	174	5052	43.00
Reino Unido	78	1953	33.00
Itália	116	2791	31.00
Alemanha	68	2209	30.00
Áustria	43	2120	25.00
Países Baixos	35	1391	24.00
Suécia	65	2002	23.00
Canadá	56	1276	22.00
Espanha	62	1087	19.00
China	106	819	13.00
Finlândia	54	925	13.00
França	32	551	12.00
Austrália	30	614	9.00
Dinamarca	14	517	9.00
Japão	43	627	8.00
Portugal	32	769	8.00
Brasil	30	371	7.00
Noruega	17	381	7.00
Chile	11	79	7.00
México	9	118	7.00
Suíça	9	223	7.00
Índia	41	437	6.00
Turquia	23	480	6.00
Bélgica	11	302	6.00
Malásia	12	186	5.00
Coreia do Sul	9	131	5.00
Quênia	6	120	5.00
Polónia	22	126	4.00
Indonésia	13	22	4.00
Roménia	13	120	3.00
Irlanda	9	329	3.00
Grécia	7	152	3.00
Rússia	7	16	3.00
Ucrânia	6	50	3.00
Nigéria	5	40	3.00
Croácia	16	218	2.00
Lituânia	14	253	2.00
Nova Zelândia	13	244	2.00
Africa do Sul	9	44	2.00
Colômbia	8	13	2.00
Estónia	5	247	2.00

apresenta 7 clusters dos 46 itens (países) no gráfico respectivo. Neste sentido, a similaridade temática e proximidade teórica e/ou metodológica baseada em acoplamento bibliográfico demonstra através do gráfico de rede as características de pesquisa dos países. Sendo assim, percebe-se que a frente de pesquisa é diversificada e há variedades no campo de pesquisa.

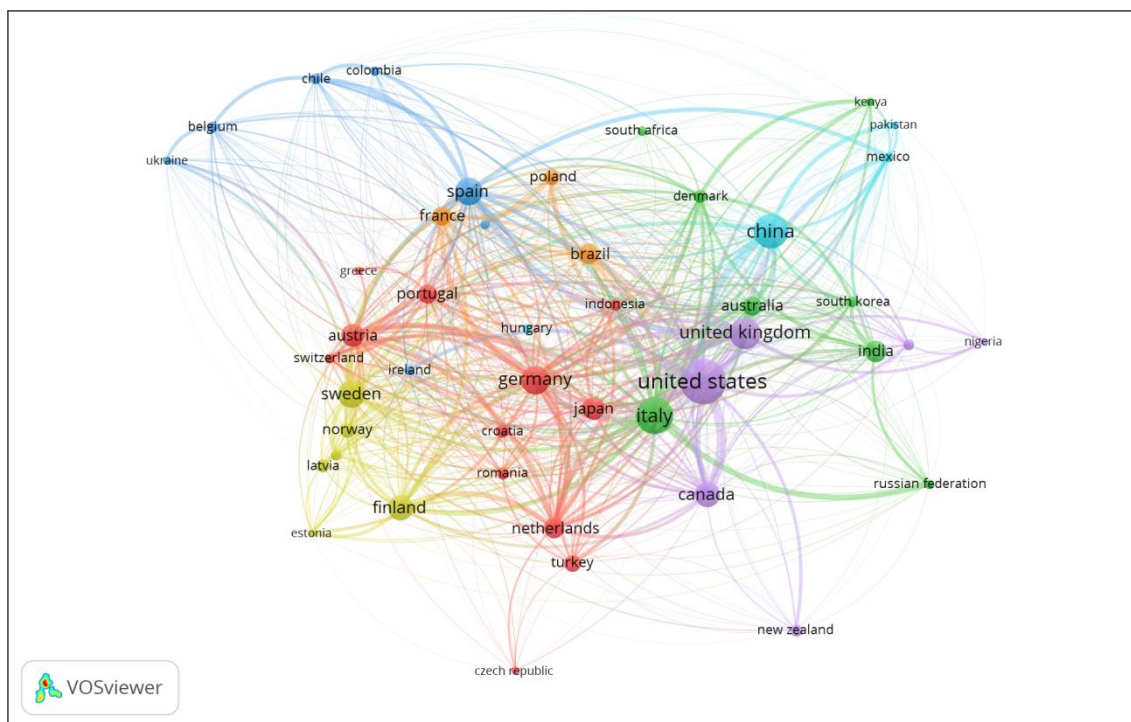


Figura 15 - Gráfico de rede de países com base em acoplamento bibliográfico. Cores indicam clusters de países.

A Figura 15 permite a avaliação no acoplamento bibliográfico os clusters em que os líderes EUA, China e Itália pertencem (roxo, azul claro e verde). Os links mais significativos de todo o gráfico são entre Canadá e EUA (com 496.30 de peso do link) e China e EUA (319.98 de peso do link), mostrando que utilizam as mesmas fontes de documentos para referencial e desenvolvimento de suas investigações. Estes pesos parciais estão para um total de 12566.97 de peso de todos os itens do gráfico.

4.2.4 Palavras-chave

O gráfico de rede de palavras-chave estabelecido com base em co-ocorrência considerando itens citados 10 vezes ou mais inclui 341 termos de um total de 8029 (Figura 16). Identificam-se 6 clusters diferentes. Em verde, no centro do gráfico, destaca-se o termo “biomass” que aparece como principal item da rede, ligado a palavras-chave como “carbon dioxide”, “gas emissions”, “greenhouse gases” e itens

relacionados com avaliações químicas e bioquímicas, mas também de áreas de estudo mais recentes como “agricultural robot”. O cluster identificado com a cor azul está centrado em “forestry” que se relaciona com termos de outros clusters (vermelho e verde) e com itens como “bioenergy” e “biomass”, mas com mais co-ocorrências com “wood”, “timber”, “energy” e “woods productions”. O cluster vermelho encontra-se centrado no item “bioenergy” com links a itens de grande peso como “sustainability”, “biomass power”, “climate change”, “alternative energy” e “fossil fuel”, denotando uma ligação de assuntos relacionados diretamente com a sustentabilidade, alteração climáticas e energia. Também se relaciona diretamente a assuntos direcionados à produção e gestão florestal. O cluster representado a amarelo está centrado em “agriculture” com links de co-ocorrência a termos relacionados com estudos de matérias-primas, métodos de cultivo e biorrefinarias. Em termos numéricos a palavra-chave de maior ocorrência foi “biomass” que apresentou 769 ocorrências, tendo o valor de links com outras palavras-chave sido de 340 e a força total de links de 754.00.

O cluster a que pertence o item “biomass” é o que apresenta mais palavras-chave, totalizando 90 itens. Considerando que esta palavra-chave tem 340 links, mostra-se que há assuntos com grande relevância para a área científica relacionada com biomassa.

“Forestry”, altamente relacionada com “biomass” (possível observar através da linha mais grossa de link entre ambas), tem uma força de link de 44.31 (cluster de cor azul). Apesar da proximidade com que são representadas no gráfico e da força de link ser expressiva, “biomass” e “forestry” pertencem a clusters diferentes. Isso por que as duas separadamente têm muitas ramificações de assuntos e temas que abordam. A palavra-chave “timber”, com 198 ocorrências e força de link de 198.00 (cluster azul), apresenta uma forte ligação com “forestry” (a mais forte das ligações), com força de link de 17.48. Também tem alta ligação com “biomass”, expressa pela linha grossa e força de link de 14.48.

A palavra-chave “energy”, com 97 ocorrências, 282 links e força de link 96.00 (roxo), não se relaciona de maneira tão próxima com os restantes clusters do gráfico de rede. Em contrapartida, tem ligação forte com as principais palavras-chaves do gráfico de rede.

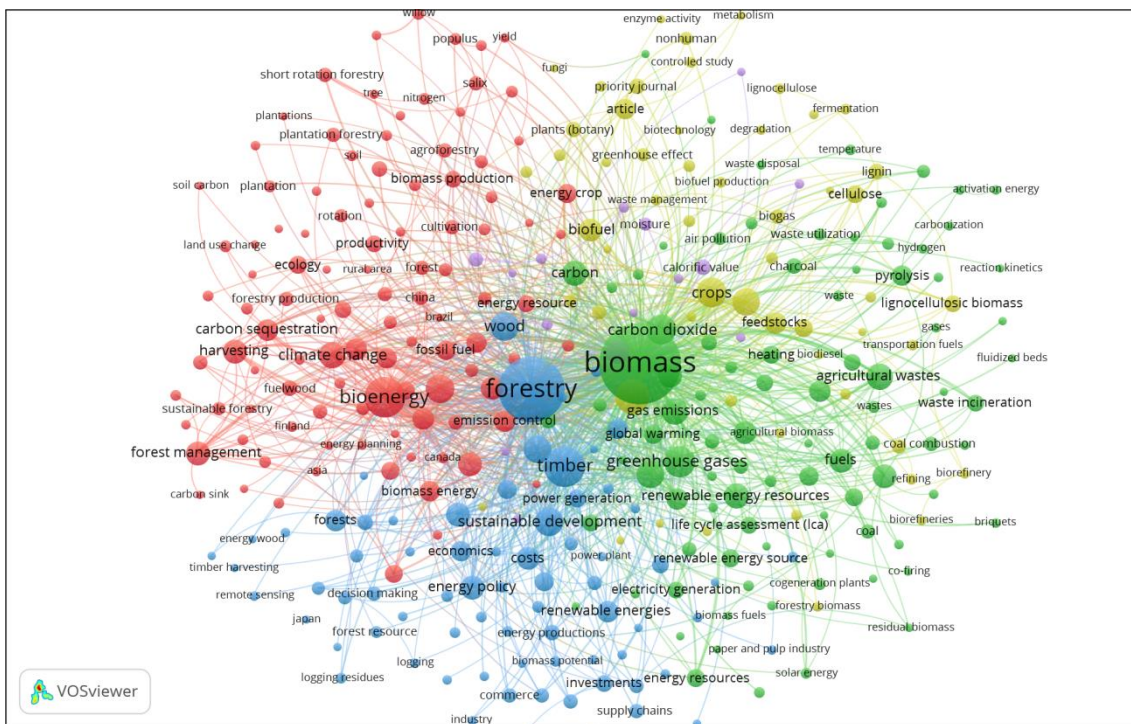


Figura 16 - Gráfico de rede de palavras-chave com base em co-ocorrência.

Tabela 8 - Ranking dos países por atributo Força Total de Link com base em co-autoria com indicação do número de documentos por países e citações.

Cluster 1 (Vermelho)	Cluster 2 (Verde)	Cluster 3 (Azul)	Cluster 4 (Amarelo)	Cluster 5 (Rosa)
Bioenergy	Biomass	Forestry	Agriculture	Renewable energy
Biomass power	Carbon dioxide	Timber	Crops	Calorific value
Climate change	Carbon	Energy	Biofuels	Moisture
Forest management	Fossil fuels	Wood	Feedstock	Energy consumption
Harvesting	Agricultural Wastes	Sustainable development	Ethanol	Energy production
Carbon sequestration	Fuels	Bio-energy	Cellulose	Comparative study

O uso de palavras-chave ao longo do tempo (mínimo de 10 ocorrências) para o intervalo de tempo de 2008 a 2020 está representado na Figura 17.

assunto mostrando-se ativa na publicação de artigos (n = 174) e contribuindo para o tema a nível internacional em colaboração com outros países, conforme indicado na análise de redes. Na Europa, o conjunto dos seus países apresenta dominância nas publicações no tema, sendo responsável por 57% do total dos documentos publicados mundialmente tendo também uma forte interação científica entre instituições dentro deste bloco.

Quanto aos países de língua oficial portuguesa, Portugal encontra-se em 15º lugar em número de documentos publicados (n=32) com uma força de link considerável (8.00) e cooperação com países como Itália, Alemanha, Espanha e Reino Unido, evidenciando colaboração em estudos com instituições europeias. O Brasil, em 17º posição em publicação de documentos (n=30), encontra-se também entre os países com mais colaborações no assunto e no cenário internacional, com colaboração moderada (força de link total=7.00) com os Estados Unidos, Reino Unido, Espanha, Alemanha e Suécia.

A língua inglesa está presente em 90% dos artigos, sendo ainda de destacar o chinês (n=31), o alemão (n=23) e o francês (n=16) entre as línguas de publicação.

As instituições escandinavas lideraram o número de publicações. Individualmente destacaram-se a Sveriges Lantbruksuniversitet (n=33), Suécia, e Itä-Suomen yliopisto (n=17) e Natural Resources Institute Finland Luke (n=17), Finlândia, apesar dos respetivos países não serem os que mais publicaram no período em análise.

Os autores mais relevantes no tema foram Faaij, A., Hall, D., Michell, C. e Spinelli, R. André Faaij da Universidade de Groningen (Holanda) contribuiu com 9 documentos desde 2005.

Na análise de rede de palavras-chave a palavra “Biomass” e “Forestry”, palavras escolhidas neste trabalho como termos de busca, abrangeram uma vasta gama de assuntos relacionados ao tópico e explicitaram as frentes de estudos mais atuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adedayo, H. B., Adio, S. A., & Oboirien, B. O. (2021). Energy Research in Nigeria: A Bibliometric Analysis. *Energy Strategy Reviews*, 34, 100629.
- Alich, J. A. (1976). Crop, forestry, and manure residues: An energy resource. In Conference on Capturing the Sun through Bioconversion, Washington, DC (USA), 10-12 Mar 1976. Council on Solar Biofuels.
- Amidon, T. E., Wood, C. D., Shupe, A. M., Wang, Y., Graves, M., & Liu, S. (2008). Biorefinery: conversion of woody biomass to chemicals, energy and materials. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2 (2), 100-120.
- Andrade, R. (2007). *Gaseificação de biomassa: uma análise teórica e experimental*. Doctoral dissertation. Instituto de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Araújo, C. A. (2006). Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. *Em questão*, 12 (1), 11-32.
- Azevedo, J. C., Castro, J. P., Tarelho, L., Escalante, E. Feliciano, M. (2011). Avaliação do potencial de produção e utilização sustentável de biomassa para energia no distrito de Bragança. In *XVII Congresso da Associação Portuguesa para o Desenvolvimento Regional (APDR)*. pp. 1008-1021. Instituto Politécnico de Bragança.
- Azevedo, J. C., Enes, P., Marcos, N., Nunes, C., Pontes, R., Nunes, J. (2020). *Floresta: Uma aproximação quantitativa à disponibilidade de subprodutos*. *Health care*, 88, 558-566.
- Baesso, T. N., Simioni, F. J., de Almeida Buschinelli, C. C., Moreira, J. M. M. Á. (2021). *Prospecção do uso da biomassa florestal para finalidades energéticas no Brasil*, 144 p. Editora: Atena.
- Bai Filho, P. (2018). *Caracterização ecotoxicológica de resíduo proveniente da combustão de biomassa florestal para uso agrícola*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil.

- Batista, A. C. D. M. (2019). *Conversão térmica e termocatalítica da biomassa de microalgas utilizando Hbeta*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, Brasil.
- Bersch, A. P., Brun, E. J., Pereira, F. A., Silva, D. A., De Barba, Y. R., & Junior, J. R. D. (2018). Caracterização energética da madeira de três materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. *Floresta*, 48 (1), 87-92.
- Börjesson, P. I. I. (1996). Energy analysis of biomass production and transportation. *Biomass and bioenergy*, 11 (4), 305-318.
- Briens, C., Piskorz, J., & Berruti, F. (2008). Biomass Valorization for Fuel and Chemicals Production - A Review. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 6 (1). 6 p.
- Brito, J. O., & Barrichelo, L. E. G. (1981). Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeiras da Amazônia. *IPEF - Série Técnica*, 2 (5). P. 1-25.
- Calderón, C., Colla, M., Jossart, J. M., Hemeleers, N., Cancian, G., Aveni, N., Caferri, C. (2019). *Bioenergy Europe: Statistical Report - Pellet*. Editora: Bioenergy Europe Brussels. 98pp.
- Canto, J. L. D. (2009). *Colheita mecanizada de biomassa florestal para energia*. Doctoral dissertation. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.
- Cardoso, B. M. (2012). *Uso da biomassa como alternativa Energética*. Monografia do curso de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Carrier, M., Loppinet-Serani, A., Denux, D., Lasnier, J. M., Ham-Pichavant, F., Cansell, F., Aymonier, C. (2011). Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass. *Biomass and bioenergy*, 35 (1), 298-307.
- Carriquiry, M. A., Du, X., Timilsina, G. R. (2011). Second Generation Biofuels: Economics and Policies. *Energy policy*, 39 (7), 4222-4234.
- Ceretta, G. F., Reis, D. R. D., Rocha, A. C. D. (2016). Inovação e modelos de negócio: um estudo bibliométrico da produção científica na base Web of Science. *Gestão e Produção*, 23 (2), 433-444.

- Chaves, L. I. (2012). *Microgeração de energia elétrica com gás de síntese*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, Brasil.
- Chen, H., Ho, Y. S. (2015). Highly cited articles in biomass research: A bibliometric analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 12-20.
- Claudino Filho, V.V. (2019). *Uso de biomassa e de carvão vegetal em gaseificadores para produzir gás adequado a motores de combustão interna*. Doctoral dissertation. Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, Brasil.
- Collares, D. G. (2011). Florestas energéticas e resíduos são fontes de bio-óleo e biocarvão. *Embrapa: Nota Técnica*.
- Couto, L. C., Couto, L., Watzlawick, L. F., Câmara, D. (2004). Vias de valorização energética da biomassa. *Biomassa & Energia*, 1 (1), 71-92.
- Cunha, M. V. (1985). Os periódicos em ciência da informação: uma análise bibliométrica. *Ciência e Informação*, 14, (1), 37-45.
- De Oliveira Claro, P. B., Claro, D. P., Amâncio, R. (2008). Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações. *Revista de Administração*, 43 (4), 289-300.
- Decreto-lei nº 64/2017 de 12 de junho. Diário da República, 1.^a série – N.º 113. *Ministério da Economia*. Lisboa
- Delgado, R. F. L. (2016). *Estudo e Implementação de um Sistema de Cogeração*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- DGEG. 2019. Estatísticas rápidas. Nº 178, agosto de 2019. *Direção Geral de Energia e Geologia*, Lisboa, 21pp.
- Diário da República. (2014). Acórdão do Tribunal Constitucional. Nº 93. P. 2841-2860.
- Nascimento, M. D., Biaggioni, M. A. M. (2010). Avaliação Energética do uso de lenha e cavaco de Madeira para Produção de Energia em Agroindústria Seropédica. *Energia na Agricultura*, 25 (3), 104-117.
- Dobie, P., Neufeldt, H., Sharma, N., Iiyama, M., Ciannella, R., Njenga, M. (2015). Strategy on tree-based energy: clean and sustainable energy for improving the livelihoods of poor people. *World Agroforestry*).

- Donato, D. B. (2017). *Desenvolvimento e avaliação de fornalha para combustão dos gases da carbonização da madeira*. Doctoral dissertation. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.
- Duarte, M. C. D. S. (2011). *Avaliação do potencial de biomassa florestal residual para fins energéticos no Distrito de Viseu*. Doctoral dissertation. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Eloy, Elder. (2013). *Quantificação e caracterização da biomassa florestal em plantios de curta rotação*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Ericsson, K., & Werner, S. (2016). The introduction and expansion of biomass use in Swedish district heating systems. *Biomass and bioenergy*, 94, 57-65.
- Faaij, A. P. (2006). Bio-energy in Europe: changing technology choices. *Energy policy*, 34 (3), 322-342.
- Faria, C. I. S. (2016). *Setor da biomassa para combustíveis em Portugal*. Dissertação de Mestrado. Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal.
- Ferrari, G., Pezzuolo, A., Nizami, A. S., & Marinello, F. (2020). Bibliometric Analysis of Trends in Biomass for Bioenergy Research. *Energies*, 13 (14), 3714.
- Ferreira, O. C. (2000). Emissões de gases de efeito estufa na produção e no uso do carvão vegetal na Siderurgia. *Economia & Energia*. 20 (1), 400.
- Ferreira-Leitao, V., Gottschalk, L. M. F., Ferrara, M. A., Nepomuceno, A. L., Molinari, H. B. C., Bon, E. P. (2010). Biomass residues in Brazil: availability and potential uses. *Waste and Biomass Valorization*, 1 (1), 65-76.
- Franco, C., Pinto, F., Gulyurtlu, I., & Cabrita, I. (2003). The study of reactions influencing the biomass steam gasification process. *Fuel*, 82 (7), 835-842.
- Franco, N. G., Sarvo, D. D. O., Faria, L. I. L. (2018). Análise de redes por co-ocorrência de palavras-chave: Identificação de possíveis colaborações científicas. In: *Encontro Brasileiro de Bibliometria e Cientometria e VI Encontro Brasileiro de Bibliometria e Cientometria*, 6 (6), 163-171.

- Forster, J., Vaughan, N. E., Gough, C., Lorenzoni, I., & Chilvers, J. (2020). Mapping feasibilities of greenhouse gas removal: Key issues, gaps and opening up assessments. *Global Environmental Change*, 63, 102073.
- Gagliano, A., Nocera, F., Bruno, M., & Cardillo, G. (2017). Development of an equilibrium-based model of gasification of biomass by Aspen Plus. *Energy Procedia*, 111, 1010-1019.
- Gianordoli, V. (2016). *Geoinformação e setor público: uma avaliação da produção científica através do mapeamento da ciência*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, Brasil.
- Gingrich, S., Erb, K. H., Krausmann, F., Gaube, V., Haberl, H. (2007). Long-term dynamics of terrestrial carbon stocks in Austria: a comprehensive assessment of the time period from 1830 to 2000. *Regional Environmental Change*, 7(1), 37-47.
- Grácio, M. C. C. (2016). Bibliographic coupling and co-citation analysis: theoretical-conceptual review. In: *Encontros Bibli: Revista eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação*. 21 (47), 82-99.
- Grácio, M. C. C., de Oliveira, E. F. T., & de Matos, G. I. (2009). Visibilidade dos pesquisadores no tema Estudos Métricos: análise de citação e co-citação nos periódicos do SciELO. *Ibersid: Revista de Sistemas de Información y Documentación*. 3, 81-86.
- Guedes, V. L., Borschiver, S. (2005). Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. In: *Encontro Nacional de Ciência da Informação*, 6 (1), 18 p.
- Haberl, H., Erb, K. H., Krausmann, F., Gaube, V., Bondeau, A., Plutzer, C., Gingrich, S., Lucht, W., Fischer-Kowalski, M. (2007). Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America - PNAS*, 104 (31), 12942-12947.
- Haberl, H., Erb, K. H., Krausmann, F., Gaube, V., Bondeau, A., Plutzer, C., Gingrich, S., Lucht, W., Fischer-Kowalski, M. (2007). Quantifying and mapping the human

appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS*, 104 (31), 12942-12947.

Heaton, E. A., Long, S. P., Voigt, T. B., Jones, M. B., & Clifton-Brown, J. (2004). Miscanthus for renewable energy generation: European Union experience and projections for Illinois. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 9 (4), 433-451.

Heidenreich, S., & Foscolo, P. U. (2015). New concepts in biomass gasification. *Progress in Energy and Combustion Science*, 46, 72-95.

Hein, K. R. G., & Bemtgen, J. M. (1998). EU clean coal technology—co-combustion of coal and biomass. *Fuel processing technology*, 54 (1-3), 159-169.

J., Cunha, A., Marques. (2020). *Caracterização das cadeias de abastecimento de biomassa florestal em Portugal*. CESE, Portugal. 59 p.

Jodar, D.K.C. (2018). *Energias Renováveis: Dicionário terminológico da Energia Eólica em Português brasileiro com equivalentes em Espanhol Europeu*. Doctoral dissertation. Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil.

Kirubakaran, V., Sivaramakrishnan, V., Nalini, R., Sekar, T., Premalatha, M., Subramanian, P. (2009). A review on gasification of biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (1), 179-186.

Lopes, S., Costa, M. T., Fernández-Llimós, F., Amante, M. J., Lopes, P. F. (2012). A Bibliometria e a Avaliação da Produção Científica: indicadores e ferramentas. In: *Actas do Congresso Nacional de bibliotecários, arquivistas e documentalistas* (11), 1-7.

Lora, E. E. S., Andrade, R. V., & Aradas, M. E. C. (2004). Geração elétrica em pequena escala a partir da gaseificação de biomassa. In: *Anais do V Encontro de Energia no Meio Rural*. Enc. Energ. Meio Rural 2004.

Loução, I. J. G. (2008). *Valorização da biomassa florestal, proveniente da doença de nemátodo de pinheiro, para produção de peletes*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

- Macias-Chapula, C. A. (1998). O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. *Ciência da informação*, 27 (2).
- Magalhães, T. G. D. (2006). *O uso da biomassa na gestão do risco de incêndio florestal no concelho de Fafe*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Mao, G., Huang, N., Chen, L., & Wang, H. (2018). Research on biomass energy and environment from the past to the future: A bibliometric analysis. *Science of The Total Environment*, 635, 1081-1090.
- Mao, G., Liu, X., Du, H., Zuo, J., & Wang, L. (2015). Way forward for alternative energy research: A bibliometric analysis during 1994–2013. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 276-286.
- Medeiros, I. V. Vieira, A. Raviano, G. Gonçalves, B.S. (2015). Revisão Sistemática e facilitadas por um canvas para visualização de informação. *Revista Brasileira de Design de Informação*. 12 (1), 93-110.
- Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. (2005). Biomassa e Energias Renováveis na Agricultura, Pescas e Florestas. *Relatório técnico*.
- Mirkouei, A., Haapala, K. R., Sessions, J., & Murthy, G. S. (2017). A review and future directions in techno-economic modeling and optimization of upstream forest biomass to bio-oil supply chains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 15-35.
- Moran, M. R., de Araujo Souza, F. F., Boaventura, J. M. G., de Lourdes Marinho, B., Fischmann, A. A. (2010). Alianças estratégicas: uma análise bibliométrica da produção científica entre 1989 e 2008. *Ciencias da Administração*, 12 (27), 63-85.
- Mugnaini, R. (2003). A bibliometria na exploração de bases de dados: a importância da Lingüística. *Transinformação*, 15 (1), 45-52.
- Netto, C. P. C. A. (2008). *Potencial da biomassa florestal residual para fins energéticos de três concelhos*. Doctoral dissertation. Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

- Observatório Técnico Independente, Castro Rego F., Fernandes P., Sande Silva J., Azevedo J., Moura J. M., Oliveira E., Cortes R., Viegas D. X., Caldeira D., Duarte, S. F. (2020). Redução do risco de incêndio através da utilização de biomassa lenhosa para energia. *Estudo técnico*. Assembleia da República. Lisboa. 22pp.
- Oliveira, A. C. (2012). Sistema forno-fornalha para produção de carvão vegetal.
- Oliveira, J. G. D. (2007). *Perspectivas para a cogeração com bagaço de cana-de-açúcar: potencial do mercado de carbono para o setor sucro-alcooleiro paulista*. Doctoral dissertation. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Paes, F. A. S. V., Lima, A. M. N., Hakamada, R. E., Barros, N. F. D. (2013). Impacto do manejo dos resíduos da colheita, do preparo do solo e da adubação na produtividade de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37 (4), 1081-1090.
- Patrício, M. S., Nunes, L., Saraiva, Â. D., Azevedo, J.C. (2013). Produção potencial de biomassa em culturas energéticas lenhosas no Norte de Portugal. In: Atas VII Congresso Florestal Nacional: “Florestas – Conhecimento e Inovação”. Artigos/Comunicações pp. 362-368.
- REA - Relatório de Estado do Ambiente (2019). Energia e Clima: Energias Renováveis.
- Roberts, J. J., Silveira, J. L., Luperni, L., Buccieri, G. P., & Grilo, C. M. S. (2011). Aspectos técnicos, ecológicos e econômicos de sistema de cogeração aplicado à indústria de papel e celulose. In: IX Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission (CLAGTEE). 1-10.
- Rosokhata, A., Minchenko, M., Khomenko, L., Chygryn, O. (2021). *Renewable energy: a bibliometric analysis*. EDP Sciences. In E3S Web of Conferences. 250, p. 03002.
- Saião, M. G. C. M. (2009). *Implementação de uma central a biomassa: análise de sustentabilidade ambiental e econômica*. Doctoral dissertation. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

- Sampaio, R. B., Sacerdote, H. C. D. S., Fonseca, B. D. P. F., & Fernandes, J. H. C. (2015). A colaboração científica na pesquisa sobre coautoria: um método baseado na análise de redes. *Perspectivas em Ciência da Informação*, 20 (4), 79-92.
- Sancho, R. (1990). Indicadores bibliométricos utilizados en la evaluación de la ciencia y la tecnología. Revisión bibliográfica. *Revista Española de Documentación Científica*, 13 (3-4).
- Scarlat, N., Dallemand, J. F., Monforti-Ferrario, F., & Nita, V. (2015). The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. *Environmental Development*, 15, 3-34.
- Silva, J. A. D., Bianchi, M. D. L. P. (2001). Cientometria: a métrica da ciência. *Paidéia*, 11, 5-10.
- Slopiecka, K., Bartocci, P., & Fantozzi, F. (2012). Thermogravimetric analysis and kinetic study of poplar wood pyrolysis. *Applied Energy*, 97, 491-497.
- Smeets, E. M., & Faaij, A. P. (2007). Bioenergy potentials from forestry in 2050. *Climatic Change*, 81 (3), 353-390.
- Soares, T. S., Carneiro, A. D. C., Gonçalves, E. D. O., & Lelles, J. D. (2006). Uso da Biomassa Florestal na geração de energia. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal*, 8, 1-9.
- Splithoff, H., Hein, K. R. G. (1998). Effect of co-combustion of biomass on emissions in pulverized fuel furnaces. *Fuel Processing Technology*, 54 (1-3), 189-205.
- Stupak, I., Asikainen, A., Jonsell, M., Karlton, E., Lunnan, A., Mizaraitè, D., K., Pasanen, H., Parn, K., Raulund-Raumusseng, D., Roser, M., Schroeder, I., Varnagiryté, L., Vilkriste, L., Callesen, N., Clarke, T., Gaitnieks, M., Ingerslev, M., Mandre, R., Ozolincius, A., Saarsalmini, K., Armolaitis, H., Helmisaari, A., Indriksons, L., Kairiukstis, K., Katzensteiner, M., Kukkola, K., Ots, H.P., Ravn., P., Tamminen. (2007). Sustainable utilisation of forest biomass for energy—possibilities and problems: policy, legislation, certification, and recommendations and guidelines in the Nordic, Baltic, and other European countries. *Biomass and Bioenergy*, 31 (10), 666-684.

- Tadaki, Y., Kawasaki, Y. (1966). Primary Productivity of a Young *Cryptomeria* plantation with Excessively High Stand Density. *Journal of the Japanese Forestry Society*, 48 (2), 55-61.
- Tadaki, Y., Ogata, N., Nagatomo, Y., Yoshida, T. (1966). Primary Productivity of an unthinned 45-year-old stand of *Chamaecyparis obtusa*. *Journal of the Japanese Forestry Society*, 48 (11), 387-393.
- Timbers, G. E., Downing, C. G. E. (1976). Recent Canadian activities in biomass. In: Sharing the Sun: Solar Technology in the Seventies, *International Solar Energy Society*, 1 (1), 119-125.
- Tubiello, F. N., Salvatore, M., Rossi, S., Ferrara, A., Fitton, N., & Smith, P. (2013). The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environmental Research Letters*, 8 (1), 015009.
- Turkenburg, W. C., & Faaij, A. (2000). Renewable energy technologies. UNDP/UNDESA/WEC: Energy and the Challenge of Sustainability. *World Energy Assessment*. New York: UNDP, 219-272.
- Tursi, A. (2019). A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion. *Biofuel Research Journal*, 6 (2), 962-979.
- UE. (2009). Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2009. Relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE. Estrasburgo, *União Européia*.
- Van Eck, N. J., Waltman, L. (2018). VOSviewer Manual. Version 1.6.8. Manual: *Universiteit Leiden and CWTS Meaningful metrics*, 1-51.
- Van Eck, N. J., Waltman, L. (2011). Text mining and visualization using VOSviewer. *Cornell University*, 1109-2058.
- Van Eck, N. J., Waltman, L. (2014). Visualizing bibliometric networks. In: *Measuring scholarly impact*. pp. 285-320. Springer, Cham.
- Van Eck, N. J., Waltman, L., Dekker, R., van den Berg, J. (2010). A comparison of two techniques for bibliometric mapping: Multidimensional scaling and VOS. *Journal*

of the American Society for Information Science and Technology, 61 (12), 2405-2416.

- Vanti, N. A. P. (2002). Da bibliometria à Webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. *Ciência da informação*, 31 (2), 369-379.
- Velázquez, S. M. S. G. (2006). *Perspectivas para a geração de excedentes de energia elétrica no segmento de papel e celulose com a utilização de sistemas de gaseificação/turbina a gás*. Doctoral dissertation. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Vieira, L., Teixeira, E., Silva, A., Bucek, E., & Toledo, R. (2018). Utilização dos gases da carbonização da madeira proveniente de um forno industrial por microondas para obtenção de energia elétrica. In: II Encontro de Desenvolvimento de Processos Agroindustriais.
- Ward, R. F. (1976). Federal fuels from biomass energy program. *Clean Fuels from Biomass, Sewage, Urban Refuse, Agricultural Wastes*, 427-436.
- WCED, S. W. S. (1987). World commission on environment and development. *Our common future*, 17 (1), 1-91.
- World Agroforestry Centre (ICRAF). *Strategy on Tree-based Energy*. World Agroforestry Centre. Nairobi, Kenya.
- WWF, Brasil. (2003). Uma introdução às dinâmicas da conectividade e da autoorganização. *Editora: Cidade*, 1, 1-91.
- Wyman, C. E. (1994). Ethanol from lignocellulosic biomass: technology, economics, and opportunities. *Bioresource Technology*, 50 (1), 3-15.
- Wyman, C. E. (1999). Biomass ethanol: technical progress, opportunities, and commercial challenges. *Annual review of energy and the environment*, 24 (1), 189-226.
- Wyman, C. E. (2003). Potential synergies and challenges in refining cellulosic biomass to fuels, chemicals, and power. *Biotechnology progress*, 19 (2), 254-262.

- Yevich, R., & Logan, J. A. (2003). An assessment of biofuel use and burning of agricultural waste in the developing world. *Global Biogeochemical Cycles*, 17 (4), 1-42.
- Yoshida, N. D. (2010). Análise bibliométrica: um estudo aplicado à previsão tecnológica. *Future Studies Research Journal: Trends and Strategies*, 2 (1), 52-84.