

USO DA BIOMASSA FLORESTAL PARA GERAÇÃO DE BIOENERGIA: UMA REVISÃO

JOICE MACHADO MARTINS

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

FELIPE FIRMINO DINIZ

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA

AMADEU JUNIOR DA SILVA FONSECA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

EDVALDO PEREIRA SANTOS JÚNIOR

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PERNAMBUCO

LUIZ MOREIRA COELHO JUNIOR

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Introdução

A bioenergia é gerada através da conversão da biomassa florestal ou outros materiais orgânicos, em eletricidade, energia térmica ou biocombustíveis, através de diferentes processos (MERCANTE, 2021). No Brasil, em 2020, cerca de 15.726.300.45 kW (8,72%) do total da potência outorgada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) foi referente a bioenergia, sendo a 3ª maior fonte energética entre as energias renováveis, atrás da hidrelétrica e eólica. Evidenciando assim, a sua importância para a segurança energética nacional (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2020).

Problema de Pesquisa e Objetivo

Devido a importância de estudos acerca da bioenergia florestal, é imprescindível o uso de ferramentas que auxiliem na divulgação de informações dessa área. Nesse contexto, a bibliometria caracteriza-se por realizar uma análise sistêmica da literatura, apresentando como ponto principal o uso de métodos matemáticos e estatísticos na análise de produções científicas (CHUEKE, 2015; COOK et al., 1997; FERRARI et al., 2020; GLANZEL, 2003). Diante ao exposto, o presente estudo realizou uma análise bibliométrica de produções científicas no campo da bioenergia florestal.

Fundamentação Teórica

Segundo Kitchenham (2004) a revisão sistemática é um método de identificação, avaliação e interpretação de todas as pesquisas disponíveis que sejam relevantes para um estudo. É caracterizada como um estudo secundário que se baseia em análises de estudos primários. Existem inúmeros fatores que demonstram a importância da revisão sistemática. Tem-se a obtenção de informações concretas acerca de uma determinada tecnologia, permite a identificação de lacunas nos estudos observados, possibilitando que os autores capturem essas informações e avaliem a sua necessidade para trabalhos futuros.

Metodologia

Primeiramente, uma pesquisa exploratória foi realizada a fim de definir os termos de busca a serem empregados. Aplicou-se os termos definidos nas bases de dados aqui utilizadas e após inúmeras filtragens, gerou-se uma amostra de trabalhos a ser analisada. Por fim, elaborou-se um mapa de espacialização para evidenciar os países de maior contribuição, um mapa das palavras-chave mais utilizadas, gráficos da evolução anual das publicações e citações, os periódicos foram organizados considerando o Fator de Impacto. Por fim, os estudos foram divididos em estudos ambientais ou de otimização.

Análise dos Resultados

O Canadá e Estados Unidos, destacaram-se com 17 e 11 artigos, respectivamente. Observando a distribuição temporal, o ano com mais trabalhos publicados foi 2011, com 10 artigos. Esse processo se tornou mais regular a partir de 2014. As palavras-chave com maior representação foram bioenergia, biomassa, energia e otimização. O periódico mais utilizado correspondeu a Biomass and Bioenergy, publicando 9 documentos, seguido por Applied Energy com 7 publicações. Os estudos de otimização foram a maioria, correspondendo a 54 artigos. Enquanto os estudos ambientais foram representados por 19 produções.

Conclusão

Análises bibliométricas são de extrema necessidade para a divulgação do conhecimento acerca de um determinado assunto. Por ela, observa-se as tendências de pesquisa, os periódicos mais relevantes e as palavras-chave mais utilizadas. Os resultados obtidos permitiram observar o estado da arte no campo da bioenergia florestal.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Banco de Informações de Geração. 2020. COOK, D. J.; MULROW, C. D.; HAYNES, R. B. Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions. *Annals of internal medicine*, v. 126, n. 5, p. 376-80, 1997. CHUEKE, G. V; AMATUCCI, Marcos. O que é bibliometria? Uma introdução ao Fórum. *Internext*, v. 10, n. 2, p. 1-5, 2015. FERRARI, G. et al. Bibliometric Analysis of Trends in Biomass for Bioenergy Research. *Energies*, v. 13, n. 14, p. 3714, 2020. GLANZEL, W. Bibliometrics as a research field a course on theory and application of bibliometric indicators.

Palavras Chave

BIOMASSA FLORESTAL, BIOENERGIA, REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Agradecimento a órgão de fomento

Os autores agradecem à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ), termo de Outorga 046/2021 pelo apoio financeiro.

USO DA BIOMASSA FLORESTAL PARA GERAÇÃO DE BIOENERGIA: UMA REVISÃO

1 INTRODUÇÃO

A bioenergia é gerada através da conversão da biomassa florestal ou outros materiais orgânicos, em eletricidade, energia térmica ou biocombustíveis, através de diferentes processos (MERCANTE, 2021). No Brasil, em 2020, cerca de 15.726.300.45 kW (8,72%) do total da potência outorgada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) foi referente a bioenergia, sendo a 3ª maior fonte energética entre as energias renováveis, atrás da hidrelétrica e eólica, respectivamente (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2020).

Devido a importância de estudos acerca da bioenergia florestal, é imprescindível o uso de ferramentas que auxiliem na divulgação de informações dessa área. Assim, permite-se saber quais as suas lacunas, onde estão os pesquisadores mais ativos e quais as tendências de pesquisa.

Nesse contexto, a bibliometria caracteriza-se por realizar uma análise sistêmica da literatura, apresentando como ponto principal o uso de métodos matemáticos e estatísticos na análise de produções científicas. Um dos grandes pontos a se destacar é a sua verdadeira multidisciplinaridade, pois pode ser aplicada a quase todos os campos científicos. A necessidade e a importância da bibliometria é determinada pela constante evolução da ciência e das produções científicas (CHUEKE, 2015; COOK *et al.*, 1997; FERRARI *et al.*, 2020; GLANZEL, 2003). Diante ao exposto, o presente estudo realizou uma análise bibliométrica de produções científicas no campo da bioenergia florestal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Segundo Kitchenham (2004) a revisão sistemática é um método de identificação, avaliação e interpretação de todas as pesquisas disponíveis que sejam relevantes para um estudo. É caracterizada como um estudo secundário que se baseia em análises de estudos primários. Existem inúmeros fatores que demonstram a importância da revisão sistemática. Tem-se a obtenção de informações concretas acerca de uma determinada tecnologia, permite a identificação de lacunas nos estudos observados, possibilitando que os autores capturem essas informações e avaliem a sua necessidade para trabalhos futuros (KITCHENHAM, 2004).

A revisão sistemática de literatura – RSL – foi organizada da seguinte forma: Planejamento da pesquisa (exploratória), condução da revisão (desenvolvimento) e relatório de divulgação (análise), como vê-se a seguir.

Etapa 1. Planejamento da revisão

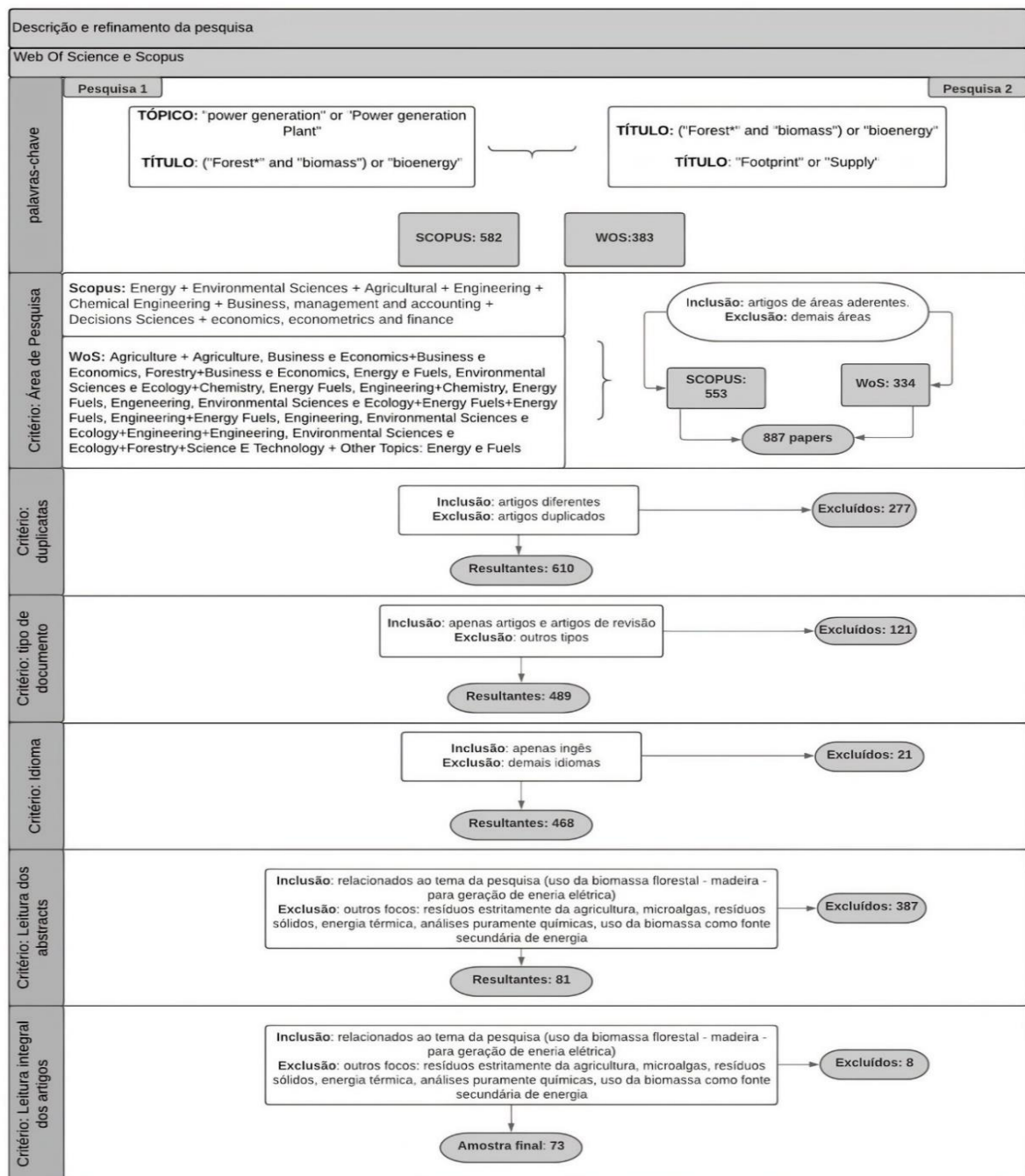
Com o intuito de observar o cenário atual em produções científicas relacionadas à bioenergia florestal, fez-se uma pesquisa exploratória não estruturada para definir os termos de busca e seus sinônimos. Tranfield; Denyer e Smart, (2003) destacaram a importância do estudo prévio na fase exploratória para delimitar a área de estudo e a plataforma de pesquisa a ser escolhida

Etapa 2. Condução da revisão

Os bancos de dados utilizados foram: *ISI Web of Science* (WoS). Sendo essa uma base multidisciplinar que indexa somente os periódicos mais citados de suas áreas, possui mais de 11.000 periódicos disponíveis. E *Scopus* que concentra aproximadamente 22.000 títulos em sua plataforma, é o maior banco de dados referente a resumos e citações com revisão por pares. Wang e Waltman (2016) mencionaram que estes são os bancos de dados bibliográficos mais importantes e prestigiados do mundo.

Aplicando as palavras-chave nos dois bancos de dados, gerou-se uma amostra de estudos referentes ao campo da bioenergia florestal. As palavras-chave das buscas na WoS e Scopus, bem como, o sequenciamento das filtragens estão dispostos na Figura 1.

Figura 1. Sequenciamento da pesquisa para revisão sistemática referente ao campo da bioenergia florestal considerando todo o histórico das bases de dados até o ano de 2020.



Fonte: autores, 2021.

Somente os artigos que atenderem a todos os critérios presentes no protocolo de revisão e que não manifestarem nenhum dos critérios de exclusão podem ser inclusos na revisão. Sendo assim, de posse da amostra final, tais resultados foram analisados, utilizando os dados técnicos contidos nas bases de dados, como ano, citações, autores e periódicos participantes, e informações extras referentes as características de cada trabalho, propostas pelos autores (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003).

Etapas 3. Relatório dos dados obtidos

Para se obter uma visão geral dos estudos referentes a bioenergia florestal, realizou-se algumas análises. Primeiramente, um mapa de espacialização foi elaborado para evidenciar os países de maior contribuição. Desenvolveu-se também, gráficos da evolução anual das publicações e citações. Classificou-se os periódicos de maior relevância considerando o Fator de Impacto e por fim, obteve-se um mapa temático das palavras-chave mais utilizadas.

Para a observação espacial das produções, um mapa foi gerado no *Software Gratuito e de Linguagem Aberta de Sistema de Informação Geográfica QGIS*, versão 3.16.1. A quantidade de publicações por países foi dividida em quartis. Segundo Fernandes e Pinto (2013) quartis são medianas de localização que dividem um conjunto de dados em quatro partes, cada uma com porcentagens de valores aproximadamente iguais, sendo: Q1 ($0 < Q1 \leq 25\%$), Q2 ($25\% < Q2 \leq 50\%$); Q3 ($50\% < Q3 \leq 75\%$); Q4 ($75\% < Q4 \leq 100\%$).

A evolução anual das publicações e o número de citações considerou a quantidade anual e acumulada. O mapa temático das palavras-chave foi elaborado no *Software VosViewer 1.6.11*, bem como, a tabela de periódicos mais relevantes.

Com o objetivo de aprofundar as informações obtidas, na análise de conteúdo, classificou-se as produções em trabalhos de otimização e em estudos ambientais uma vez que estas foram as duas temáticas predominantes.

Incluiu-se, como estudos de otimização as análises de estimativa de biomassa, tais contribuições são essenciais pois delimitam a escala de um projeto. Também, esteve presente os estudos de localização ótima para instalação de termelétricas, essas avaliações são necessárias para verificar a viabilidade técnica, economica, social e ambiental de empreendimentos termelétricos de base florestal.

Entre os estudos ambientais, observou-se a predominância de pesquisas relacionadas a avaliação de impactos ambientais. Também, incluiu-se estudos de viabilidade ambiental, no qual avaliaram a relevancia do uso da bioenergia como uma alternativa para promover a redução das mudanças climáticas. Por fim, as produções científicas de otimização e os estudos ambientais foram organizados segundos os periodicos de maior destaque

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial dos países por quartis, considerando a quantidade de publicações no campo da bioenergia florestal, abrangendo todo o histórico temporal das bases de dados até o ano de 2020. Foram encontradas 73 publicações, partilhadas em 20 países. No quartil 1, aferiu-se 19 documentos, o país com maior participação foi a Irlanda com 3 publicações, seguida pela Austrália, Itália e China, com 2 trabalhos cada um. O restante do primeiro quartil foi composto por países que apresentaram somente 1 publicação.

O Q2 foi constituído por Portugal e Finlândia, com 7 documentos cada um, seguidos de Japão e Suécia, com 6 papers. O Q2 foi composto de 26 estudos, sendo o quartil com a maior quantidade de publicações.

O Q3 foi representado pelos Estados Unidos, que sozinho, obteve 11 publicações. E por fim, no Q4 vê-se o Canadá, também sozinho, com 17 publicações, evidenciando a sua

dominância nesta temática. O Q1 representou 26% da amostra total, enquanto o Q2, 36%, Q3, 15% e finalmente o Q4 que abrangeu 23% da amostra.

Figura 2. Distribuição espacial, por países, em quartis, da quantidade de publicações no campo da bioenergia florestal, considerando todo o período disponível nas bases de dados até o ano de 2020.

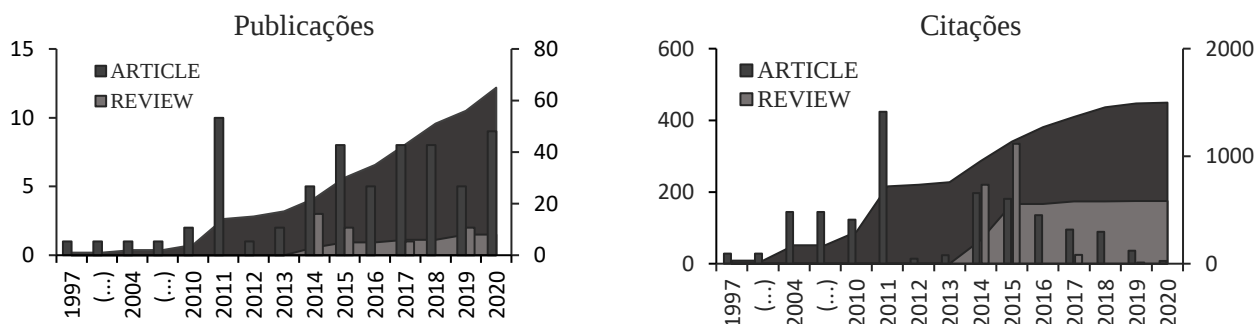


Fonte: autores, 2021.

A Figura 3 evidencia a evolução anual e acumulada das publicações e citações referentes à bioenergia florestal, contabilizou-se 65 artigos e 8 trabalhos de revisão. Observando o período de 1997 até 2013, notou-se apenas documentos do tipo artigo científico. Para esse período obteve-se 17 papers com uma média de 3 publicações por ano e 757 citações. Além disso, identificou-se apenas um artigo para os anos de 1997 e 2004.

O documento mais antigo presente na amostra corresponde ao estudo de Sedjo (1997), citado 28 vezes. O estudo avaliou o consumo total de energia em países desenvolvidos que poderia ser economicamente satisfeita pela biomassa. E comparou, com dados da literatura a viabilidade econômica e ambiental da bioenergia em relação aos combustíveis fósseis. Os resultados obtidos revelaram que um esquema de florestamento global em grande escala envolvendo 460 milhões de hectares poderia impedir a evolução do aquecimento global. Em relação aos custos, a maioria das estimativas indicaram que o acesso a lenha em grande parte do mundo a torna muito cara para competir com os combustíveis fósseis.

Figura 3. Evolução anual e acumulada das publicações e citações (Artigos e Artigos de Revisão) no campo da Bioenergia florestal, considerando todo o período disponível nas bases de dados até o ano de 2020.



Fonte: autores, 2021.

Após seis anos sem publicações, em 2004 publicou-se um paper, que é o terceiro na amostra com mais citações – 144. Nele, Freppaz et al. (2004) apresentaram um estudo de caso

aplicado a uma pequena área de montanha italiana. Utilizou-se SIG para verificar as melhores localizações para instalação de indústrias térmicas, considerando o estoque de biomassa florestal disponível para geração ótima de energia elétrica e térmica.

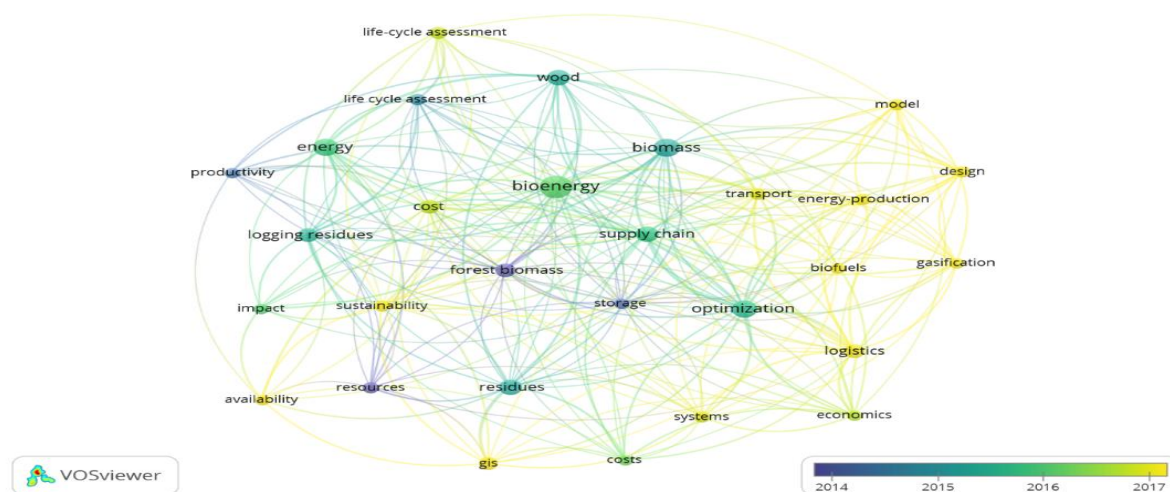
Em 2011, observou-se 10 publicações, com um total de 424 citações. O documento citado mais vezes foi o estudo de Verkerk et al. (2011) com 117 citações. Os autores estimaram o potencial, por meio de inventários florestais, do fornecimento de biomassa florestal – madeira e outros tipos de biomassa – para toda a União Europeia (UE) no período 2010-2030. Considerando aspectos ambientais, técnicos e sociais. Os resultados demonstraram que o potencial de biomassa nas florestas europeias foi estimado em 744 milhões de $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$ em 2010 e pode variar de 623 a 895 milhões de $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$ até 2030.

Os anos com maior número de publicações para artigos científicos foram 2011 e 2015, com 10 cada um, seguidos dos anos 2017 e 2020 com 9. 2014 e 2018 com 8 e 2019 com 7 publicações, os demais anos tiveram 5 publicações ou menos. Já o ano com a maior quantidade de publicações para artigos de revisão foi 2014, aferiu-se 3 produções, seguido de 2015 e 2019 com 2 artigos cada um.

A Figura 4 apresenta os clusters temáticos para análise das palavras-chave que apareceram, no mínimo 5 vezes na amostra final. Três clusters foram gerados, o primeiro destinou-se aos termos pertinentes a otimização da cadeia de abastecimento da biomassa. Enquanto o segundo, relacionou-se a produção de bioenergia, levando em consideração os impactos ambientais. Já o terceiro grupo concentrou-se em termos referentes ao potencial de biomassa florestal apta para uso energético.

Destacou-se como a palavra-chave mais atuante o termo “bioenergia” com 23 ocorrências, seguido de “biomassa” com 14, “energia” e “otimização” com 13. Os termos “madeira” “cadeia de abastecimento” e “resíduos” estiveram presentes 11 vezes, individualmente. Constatou-se que as palavras “custos” “biomassa florestal” e “resíduos de madeira” compareceram 9 vezes, cada uma.

Figura 4. Mapa temático das palavras-chave encontradas com maior frequência na amostra final considerando todo o período disponível nas bases de dados até o ano de 2020.



Fonte: autores, 2021.

A Tabela 1 concentra os periódicos mais relevantes e seus respectivos valores de Fator de Impacto. Observa-se que a revista *Biomass and Bioenergy* foi o periódico com a maior quantidade de produções, com 9 artigos, FI = 3,551 e 325 citações. Por conseguinte, teve-se a *Applied Energy*, com 7 documentos, FI = 8,848 e 367 citações. A revista com o maior fator de impacto foi a *Renewable & Sustainable Energy Reviews* com FI = 12.110.

Tabela 1. Distribuição dos periódicos científicos mais relevantes para o campo da bioenergia florestal, considerando a quantidade de produções, citações e o fator de impacto.

Periódicos	Qte	Citações	Fator de Impacto
Biomass and Bioenergy	9	325	3,551
Applied Energy	7	367	8,848
Renewable & Sustainable Energy Reviews	5	258	12,110
Journal of Cleaner Production	4	114	7,246
Energy	3	82	6,082
Global Change Biology Bioenergy	3	287	5,316
International Journal of Forest Engineering	3	11	1,386
Scandinavian Journal of Forest Research	3	30	1,755
Croatian Journal of Forest Engineering	2	13	2,500
Energy Policy	2	44	10,084

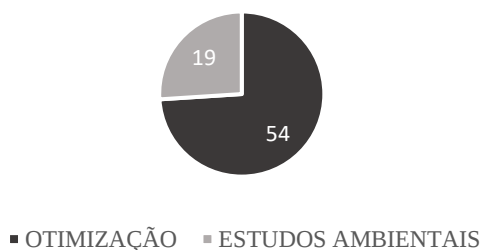
Fonte: autores , 2021.

A Figura 5 mostra a distribuição dos 73 estudos científicos quanto as temáticas predominantes no campo da bioenergia florestal, sendo elas: otimização e estudos ambientais.

Otimizar um serviço é de grande importância pois torna todo o processo mais eficiente. Para essa temática, contou-se 54 (74%) estudos somando 1308 citações. Verificou-se 49 artigos e 5 artigos de revisão. Canadá foi o país com a maior participação com 10 produções, seguido dos Estados Unidos, com 8. Entre os estudos de otimização, observou-se, sobretudo, produções acerca da disponibilidade, estimativa e fornecimento potencial e/ou real de biomassa florestal, bem como, de localização ótima para instalação de termelétricas de base florestal.

Em Portugal, além das duas centrais elétricas existentes, com 22 MW de capacidade de energia, 13 novas centrais com um total de 86.4 MW de capacidade estão em construção. Por isso, Viana et al. (2010), citados 123 vezes, avaliaram o potencial de fornecimento de biomassa florestal para atender as demandas de tais usinas, eles usaram um cenário para cogeração e um apenas para geração de energia elétrica. Os resultados mostraram que se for gerada apenas eletricidade, algumas regiões precisarão de fontes de combustível complementares para atender a demanda. No entanto, se a cogeração for implementada, o volume de madeira disponível será suficiente para atender a demanda de capacidade requerida.

Figura 5. Distribuição das 73 produções científicas no campo da bioenergia florestal, quanto à área temática, sendo elas: otimização ou estudos ambientais, considerando todo o período disponível nas bases de dados até o ano de 2020.



Fonte: autores, 2021.

O estudo de Teixeira et al. (2018), citado 13 vezes, apresentou uma metodologia baseada em SIG para encontrar localizações ótimas de termelétricas de base florestal no estado de Minas

Gerais, Brasil. Primeiro, as áreas impróprias foram excluídas, posteriormente, gerou-se um modelo de localização-alocação, que considerou apenas as áreas mais adequadas para o desenvolvimento de plantas, analisando a disponibilidade espacial de matéria-prima e a rede de estrada existente. Os resultados renderam 47 pontos candidatos para a instalação de usinas, esses locais estavam fortemente ligados às ferrovias e linhas de transmissão.

Na Tabela 2 estão distribuídos os autores concernentes à temática de otimização, abarcando também, os periódicos mais utilizados, a quantidade de trabalhos por periódico e o total de citações.

Tabela 2. Distribuição dos autores considerando os estudos de otimização da bioenergia florestal (potencial, estimativa, fornecimento, localização ótima), dos periódicos mais utilizados e o número de citações, considerando todo o período disponível nas bases de dados até o ano de 2020.

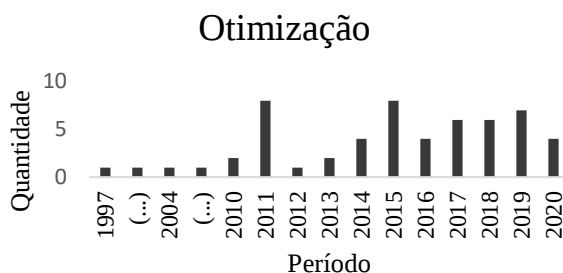
Otimização			
Revistas	Autores	Quant.	Nº de citações
Biomass and Bioenergy	Freppaz et al. (2004); Stasko et al. (2011); Yagi e Nakata (2011); Yemshanov et al. (2014); Lundmark; Athanassiadis e Wetterlund (2015); Anttila et al. (2015); Paulo et al. (2015); Teixeira et al. (2018);	8	306
Applied Energy	Viana et al. (2010), Mobini; Sowlati e Sokhansanj (2011); Comber et al. (2015); Gonzalez et al. (2016); Akhtari; Sowlati e Griess (2018);	5	256
Journal of Cleaner Production	Peura e Hyttinen (2011); Shabani e Sowlati (2016); Razm et al. (2019); Cardoso; Silva e Eusebio (2019)	4	110
Energy	Shabani; Sowlati e Ouhimmou (2014); Sosa et al. (2015); Liu; Lin e Yeh (2017);	3	80
International Journal of Forest Engineering	Joelsson et al. (2019); Tuomasjukka et al. (2018); Yamamoto; Aruga e Shirasawa (2019);	3	10
Demais	Costanza; Abt e Mckerrow (2015); Berry et al. (2018); Akhtari; Sowlati e Siller-Benitez (2019); Alam; Pulkki e Shahi (2012); Aruga et al. (2011); Aruga et al. (2014); Acuna et al. (2019); Flores; Jaeger e Islas (2017); Sedjo (1997); Hynynen et al. (2015); Verkerk et al. (2011); Brjesson; Hansson e Berndes (2017), Woo et al. (2019); Athanassiadis e Nordfjell (2017), Li et al. (2017); Zhang et al. (2010), Cambero et al. (2015); Kafle et al. (2018); Abbas et al. (2013); Battuvshin et al. (2020); Popescu et al. (2011); Mohammed et al. (2014); Ghaffariyan et al. (2017); Fu et al. (2020); Bostedt; Mustonen e Gong (2016); Aalto; Korpinen e Ranta (2019); Tatsuhara (2020); Guo; Hodges e Abt (2011); Ahmadi; Kannangara e Bensebaa (2020); Guilhermino et al. (2018); Sessions et al. (2013)	31	546
Total		54	1308

Fonte: autores, 2021.

Observa-se com base na Tabela 2 que os estudos de otimização da bioenergia florestal concentraram-se na revista Biomass and Bioenergy com 8 produções publicadas. Seguida da Applied Energy com 5 trabalhos. Por conseguinte, observou-se a Journal of Cleaner Production com 4 estudos, e finalmente, a Energy e a International Journal of Forest Engineering com 3 publicações cada uma. Os demais periódicos apresentaram menos de 3 estudos publicados, por isso, para uma melhor visualização, concentrou-se os autores na sessão “demais” que obteve 31 artigos. A revista que somou o maior número de citações foi a Biomass and Bioenergy com 306.

A Figura 6 evidencia que os estudos de otimização iniciaram em 1997. No entanto, após um longo período com poucas publicações, variando de 1 a 4, houve um impulsionamento em 2011, com 8 trabalhos.

Figura 6. Distribuição anual das publicações científicas referentes a otimização da bioenergia florestal, considerando todo o período disponível nas bases de dados até o ano de 2020.



Fonte: autores, 2021.

A partir de 2014 as publicações de produções focadas em melhorar e tornar o processo de obtenção de bioenergia mais eficiente foram mais constantes e em maior quantidade, variando entre 4 e 9 artigos. Com destaque para o ano de 2015, com 9 estudos.

Desse modo, percebe-se que estudos de otimização da bioenergia são predominantes nas bases de dados Web Of Science e Scopus, considerando os critérios da presente pesquisa. Isso ocorre pois busca-se encontrar métodos de tornar a obtenção da biomassa mais barata e menos trabalhosa, para assim, tornar a bioenergia mais competitiva entre as energias renováveis.

Quanto aos estudos ambientais, eles responderam por 26% do total das produções, somando 19 trabalhos e 773 citações, sendo 16 artigos e 3 trabalhos de revisão. O Canadá foi o país com maior participação, com 7 trabalhos.

O paper mais vezes citado (274) foi o de Creutzig *et al.* (2015). Elaborou-se uma revisão de literatura acerca do uso da bioenergia para mitigação das mudanças climáticas atuais, provocadas pela intensificação do efeito estufa. Explicou-se o estado da arte em relação aos vários efeitos climáticos, identificando-os e avaliando o potencial de poluição. Os autores concluíram que o uso de madeira na bioenergia melhora a gestão do estoque de carbono e aumenta a eficiência do sistema uma vez que através do manejo sustentável, há a manutenção da qualidade do ar e do solo.

Cambero e Sowlati (2014) com 163 citações, revisaram estudos anteriores que avaliaram ou otimizaram aspectos econômicos, sociais e ambientais da cadeia de fornecimento de biomassa florestal para a produção de bioenergia e bioprodutos. Os resultados indicaram que nos estudos abordados, as emissões de GEE é o indicador ambiental mais frequentemente usado, a produção e os custos de capital são as medidas econômicas preferidas e o número de empregos criados é o critério social mais considerado.

Na Tabela 3 estão distribuídos os autores concernentes aos estudos ambientais, considerando os periódicos mais utilizados, a quantidade de trabalhos e o total de citações. A revista mais empregada para publicações dos estudos ambientais foi Renewable and Sustainable Energy Reviews com 3 trabalhos, seguida da Applied Energy e GCB Bioenergy, Scandinavian Journal of Forest Research, com 2 produções cada uma. Os periódicos com menos de 2 publicações foram agregados na categoria “demais” que totalizou 10 artigos. A revista com o maior número de citações para essa temática foi a GCB Bioenergy com 307.

Tabela 3. Distribuição dos autores quanto aos estudos ambientais no campo da bioenergia florestal (avaliação de impactos ambientais, balanço de carbono, bioenergia como mitigadora de mudanças climáticas), dos periódicos mais utilizados e o número de citações, considerando todo o período disponível nas bases de dados até o ano de 2020.

Estudos Ambientais			
Revista	Autores	Quant.	Nº de citações
Renewable and Sustainable Energy Reviews	Cambero e Sowlati (2014); Eero et al. (2014); Da Costa et al. (2020)	3	204
Applied Energy	Murphy et al. (2014); Thakur; Canter e Kumar (2014)	2	106
GCB Bioenergy	Creutzig et al. (2015); Laganire et al. (2017)	2	307
Scandinavian Journal of Forest Research	Valente C; Hillring e Solberg (2011); De La Fuente et al. (2017);	2	24
Demais	Jin e Sutherland (2018); Cambero; Sowlati e Pavel (2016); Rafael et al. (2015); Sterman et al. (2018); Pare et al. (2011); Jones e Albanito (2020); Saez et al. (2020); Langholtz et al. (2020); Blair e Mabee (2020), Zhang et al. (2017).	10	132
Total		19	773

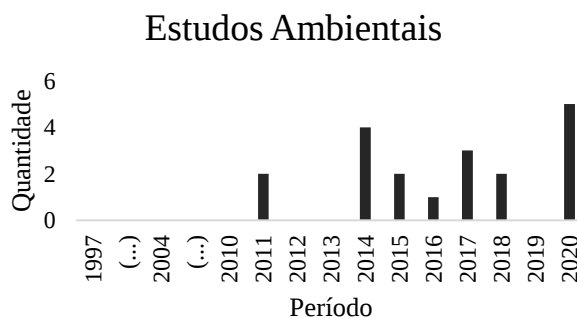
Fonte: autores, 2021.

Os estudos ambientais iniciaram, como observa-se na Figura 7 em 2011, com 2 publicações. As análises ambientais ainda são bastante irregulares, desde então. Após 2011, somente em 2014 voltou-se a publicar utilizando essa abordagem especificamente, sendo esse, o melhor ano até então para tal temática, com 4 produções.

Entre 2015 a 2019 observou-se uma nova instabilidade nas publicações, variando entre 0 a 3 trabalhos. Em 2020, publicou-se 5 artigos, sendo esse o melhor ano para publicações abrangendo a abordagem ambiental para geração de bioenergia.

A bioenergia florestal apresenta um grande potencial de uso, no entanto, o incentivo às formas modernas de geração precisa ser mais eficiente e ambientalmente adequado, principalmente quando concernentes à etapa de transporte, que dependendo da distância do ponto de escoamento e do tipo de combustível utilizado, poderá contribuir para uma maior emissão de GEE.

Figura 7. Distribuição anual das publicações científicas referentes a estudos ambientais para o campo da bioenergia florestal, considerando o período de 1997 a outubro de 2020.



Fonte: autores, 2021.

4 CONCLUSÃO

No presente estudo analisou-se uma amostra de 73 produções científicas derivadas dos bancos de dados WoS e Scopus, considerando o período de 1997 a outubro de 2020. Verificou-se a distribuição espacial das publicações, a evolução temporal considerando o número de publicações e o de citações, as palavras-chave mais utilizadas e os periódicos de maior destaque.

O mapa de distribuição espacial foi elaborado a fim de evidenciar a participação dos países. Constatou-se que o Canadá e Estados Unidos estiveram muito à frente dos restantes, com 17 e 11 artigos publicados, respectivamente.

Observando a distribuição temporal, verificou-se que as publicações iniciaram no ano de 1997. Todavia, a intensificação só ocorreu no ano de 2011, com 10 artigos. A partir de 2014, as produções foram publicadas em maior quantidade e regularidade. Acredita-se que devido ao aumento dos debates, acordos e conferências ambientais.

As palavras-chave com maior representação nos trabalhos foram bioenergia, biomassa, energia e otimização, respectivamente. Já o periódico mais utilizado correspondeu a *Biomass and Bioenergy*, esse, publicou 9 documentos, seguido por *Applied Energy* com 7 publicações.

Na análise de conteúdo classificou-se os estudos quanto as áreas temáticas predominantes na amostra – otimização e estudos ambientais. Os estudos de otimização foram a maioria, correspondendo a 54 artigos. Enquanto os estudos ambientais foram representados por 19 produções.

Para trabalhos futuros, recomenda-se pesquisas com menos restrições na obtenção das amostras nos bancos de dados, principalmente quanto ao tipo de documento ou idioma. Desse modo, seria conhecido mais precisamente o cenário atual acerca desse tema, abrangendo outros idiomas. Além disso, poder-se-ia considerar mais bancos de dados. Frisa-se que há uma gama de possibilidades de pesquisas nesse contexto uma vez que a bioenergia é altamente flexível.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AALTO, M. et al. Feedstock availability and moisture content data processing for multi-year simulation of forest biomass supply in energy production. **Silva Fenn**, v. 53, 2019.

ABBAS, Dalia et al. Cost analysis of forest biomass supply chain logistics. **Journal of Forestry**, v. 111, n. 4, p. 271-281, 2013.

ACUNA, M. et al. Methods to manage and optimize forest biomass supply chains: A review. **Current Forestry Reports**, v. 5, n. 3, p. 124-141, 2019.

AHMADI, L.; KANNANGARA, M.; BENSEBAA, F. Cost-effectiveness of small scale biomass supply chain and bioenergy production systems in carbon credit markets: A life cycle perspective. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 37, p. 100627, 2020

ALAM, M. B. PULKKI, R; SHAHI, C. Woody biomass availability for bioenergy production using forest depletion spatial data in northwestern Ontario. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 42, n. 3, p. 506-516, 2012.

ALCAYDE, A. et al. Analysis of research topics and scientific collaborations in renewable energy using community detection. **Sustainability**, v. 10, n. 12, p. 4510, 2018.

AKHTARI, S. et al. Impact of inventory management on demand fulfilment, cost and emission of forest-based biomass supply chains using simulation modelling. **Biosystems Engineering**, v. 178, p. 184-199, 2019.

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informações de Geração**. 2020. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibjI4OGYyYjQ0YWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 23 abr. 2021.
- ANTTILA, P. et al. Availability, supply technology and costs of residual forest biomass for energy—A case study in northern China. **Biomass and bioenergy**, v. 83, p. 224-232, 2015.
- ARUGA, K. et al. Discussion on economic and energy balances of forest biomass utilization for small-scale power generation in Kanuma, Tochigi prefecture, Japan. **Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering**, v. 32, n. 2, p. 571-586, 2011.
- ARUGA, K. et al. Estimating annual available amounts of forest biomass resources with total revenues and costs during the 60-year rotation in a mountainous region in Japan. **Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering**, v. 35, n. 2, p. 125-138, 2014.
- ATHANASSIADIS, D; NORDFJELL, T. Regional GIS-based evaluation of the potential and supply costs of forest biomass in Sweden. **Frontiers**, v. 4, 2017.
- BATTUVSHIN, B. et al. Supply potential and annual availability of timber and forest biomass resources for energy considering inter-prefectural trade in Japan. **Land Use Policy**, v. 97, p. 104780, 2020.
- BERRY, M. D; SESSIONS, J; ZAMORA-CRISTALES, R. Subregional comparison for forest-to-product biomass supply chains on the Pacific West Coast, USA. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 34, n. 1, p. 157, 2018.
- BLAIR, M. J; MABEE, W. E. Evaluation of technology, economics and emissions impacts of community-scale bioenergy systems for a forest-based community in Ontario. **Renewable Energy**, v. 151, p. 715-730, 2020.
- BORJESSON, P. HANSSON, J. BERNDEN, G. Future demand for forest-based biomass for energy purposes in Sweden. **Forest Ecology and Management**, v. 383, p. 17-26, 2017.
- BOSTEDT, G; MUSTONEN, M; GONG, P. Increasing forest biomass supply in Northern Europe—Countrywide estimates and economic perspectives. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 31, n. 3, p. 314-322, 2016.
- CAMBERO, C; SOWLATI, T. Assessment and optimization of forest biomass supply chains from economic, social and environmental perspectives—A review of literature. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 36, p. 62-73, 2014.
- CAMBERO, C. et al. Strategic optimization of forest residues to bioenergy and biofuel supply chain. **International Journal of Energy Research**, v. 39, n. 4, p. 439-452, 2015.

CAMBERO, C; SOWLATI, T; PAVEL, M. Economic and life cycle environmental optimization of forest-based biorefinery supply chains for bioenergy and biofuel production. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 107, p. 218-235, 2016.

CARDOSO, J; SILVA, V; EUSÉBIO, Daniela. Techno-economic analysis of a biomass gasification power plant dealing with forestry residues blends for electricity production in Portugal. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, p. 741-753, 2019.

COMBER, A. et al. Locating bioenergy facilities using a modified GIS-based location-allocation-algorithm: Considering the spatial distribution of resource supply. **Applied Energy**, v. 154, p. 309-316, 2015

COOK, D. J.; MULROW, C. D.; HAYNES, R. B. Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions. **Annals of internal medicine**, v. 126, n. 5, p. 376-380, 1997.

COSTANZA, J. K. et al. Linking state-and-transition simulation and timber supply models for forest biomass production scenarios. **AIMS Environmental Science**, v. 2, n. 2, p. 180-202, 2015.

CHUEKE, G. V; AMATUCCI, Marcos. O que é bibliometria? Uma introdução ao Fórum. **Internext**, v. 10, n. 2, p. 1-5, 2015.

CREUTZIG, F. et al. Bioenergy and climate change mitigation: an assessment. **Gcb Bioenergy**, v. 7, n. 5, p. 916-944, 2015.

DA COSTA. et al. Environmental comparison of forest biomass residues application in Portugal: Electricity, heat and biofuel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 134, p. 110302, 2020.

DE BIKUÑA, K. S. et al. Global warming implications from increased forest biomass utilization for bioenergy in a supply-constrained context. **Journal of Environmental Management**, v. 263, p. 110292, 2020.

DE LA FUENTE, T. et al. Fuel consumption and GHG emissions of forest biomass supply chains in Northern Sweden: a comparison analysis between integrated and conventional supply chains. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 32, n. 7, p. 568-581, 2017.

FERNANDES, S; PINTO, M. M. Afinal o que são e como se calculam os quartis?. 2013

FERRARI, G. et al. Bibliometric Analysis of Trends in Biomass for Bioenergy Research. **Energies**, v. 13, n. 14, p. 3714, 2020.

FLORES HERNÁNDEZ, U; JAEGER, D; ISLAS SAMPERIO, J. Bioenergy potential and utilization costs for the supply of forest woody biomass for energetic use at a regional scale in Mexico. **Energies**, v. 10, n. 8, p. 1192, 2017.

FREPPAZ, D. et al. Optimizing forest biomass exploitation for energy supply at a regional level. **Biomass and Bioenergy**, v. 26, n. 1, p. 15-25, 2004.

FU, T. et al. Estimation of the quantity and availability of forestry residue for bioenergy production in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 162, p. 104993, 2020

GARFIELD, E. Journal impact factor: a brief review. **Cmaj**, v. 161, n. 8, p. 979-980, 1999.

GHAFFARIYAN, M. R. et al. An international review of the most productive and cost effective forest biomass recovery technologies and supply chains. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, p. 145-158, 2017.

GLANZEL, W. **Bibliometrics as a research field a course on theory and application of bibliometric indicators**. 2003.

GONZALEZ-SALAZAR, M. A. et al. A general modeling framework to evaluate energy, economy, land-use and GHG emissions nexus for bioenergy exploitation. **Applied Energy**, v. 178, p. 223-249, 2016.

GUILHERMINO, A. et al. Assessment of the use of forest biomass residues for bioenergy in Alto Alentejo, Portugal: logistics, economic and financial perspectives. **Waste and biomass valorization**, v. 9, n. 5, p. 739-753, 2018.

GUO, Z; HODGES, D. G.; ABT, Robert C. Forest biomass supply for bioenergy production and its impacts on roundwood markets in Tennessee. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 35, n. 2, p. 80-86, 2011.

HE, X; YU, D. Bibliometric analysis of international cooperation in biomass energy research. **CURRENT SCIENCE**, v. 117, n. 11, p. 1785, 2019.

HYNYNEN, J. et al. Long-term impacts of forest management on biomass supply and forest resource development: a scenario analysis for Finland. **European Journal of Forest Research**, v. 134, n. 3, p. 415-431, 2015.

JÄPPINEN, E. et al. Greenhouse gas emissions of forest bioenergy supply and utilization in Finland. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 369-382, 2014

JIN, E; SUTHERLAND, J. W. An integrated sustainability model for a bioenergy system: Forest residues for electricity generation. **Biomass and Bioenergy**, v. 119, p. 10-21, 2018.

JOELSSON, J. et al. Integrated supply of stemwood and residual biomass to forest-based biorefineries. **International Journal of Forest Engineering**, v. 27, n. 2, p. 115-138, 2016.

JONES, M. B.; ALBANITO, Fabrizio. Can biomass supply meet the demands of bioenergy with carbon capture and storage (BECCS)? **Global Change Biology**, v. 26, n. 10, p. 5358-5364, 2020.

LAGANIÈRE, Jérôme et al. Range and uncertainties in estimating delays in greenhouse gas mitigation potential of forest bioenergy sourced from Canadian forests. **Gcb Bioenergy**, v. 9, n. 2, p. 358-369, 2017.

LANGHOLTZ, M. et al. The Economic Accessibility of CO2 Sequestration through Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS) in the US. **Land**, v. 9, n. 9, p. 299, 2020

LI, Y. et al. Economic impact of combined torrefaction and pelletization processes on forestry biomass supply. **Gcb Bioenergy**, v. 9, n. 4, p. 681-693, 2017.

LIU, Wan-Yu; LIN, Chun-Cheng; YEH, Tzu-Lei. Supply chain optimization of forest biomass electricity and bioethanol coproduction. **Energy**, v. 139, p. 630-645, 2017.

LIU, P R.; RAFTERY, A. E. Country-based rate of emissions reductions should increase by 80% beyond nationally determined contributions to meet the 2 C target. **Communications earth & environment**, v. 2, n. 1, p. 1-10, 2021.

LU, D. (2006). The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 27(7), 1297–1328.

LUCAS, A; VIEIRA, A. F. G; PINTO, A. L. Análise da produção científica sobre inteligência de negócios na Web of Science (WoS). 2017.

LUNDMARK, R; ATHANASSIADIS, D; WETTERLUND, E. Supply assessment of forest biomass—a bottom-up approach for Sweden. **biomass and bioenergy**, v. 75, p. 213-226, 2015.

KAFLE, S. et al. Forest-based biomass supply potential and economics for the pellet production in Nepal. **International Journal of Green Energy**, v. 15, n. 1, p. 1-7, 2018.

KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. **Keele, UK, Keele University**, v. 33, n. 2004, p. 1-26, 2004.

MERCANTE, A. L. P. Geração de bioeletricidade, através do bagaço e da palha da cana-de-açúcar. 2021.

MOBINI, M; SOWLATI, T; SOKHANSANJ, S. Forest biomass supply logistics for a power plant using the discrete-event simulation approach. **Applied energy**, v. 88, n. 4, p. 1241-1250, 2011.

MOHAMMED, Y. S. et al. Sustainable potential of bioenergy resources for distributed power generation development in Nigeria. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 34, p. 361-370, 2014.

MURPHY, F; DEVLIN, G; MCDONNELL, K. Forest biomass supply chains in Ireland: A life cycle assessment of GHG emissions and primary energy balances. **Applied Energy**, v. 116, p. 1-8, 2014.

PAULO, H. et al. Supply chain optimization of residual forestry biomass for bioenergy production: the case study of Portugal. **Biomass and Bioenergy**, v. 83, p. 245-256, 2015.

PARÉ, D. et al. The potential of forest biomass as an energy supply for canada. **The Forestry Chronicle**, v. 87, n. 1, p. 71-76, 2011.

POPESCU, S. C. et al. Satellite lidar vs. small footprint airborne lidar: Comparing the accuracy of aboveground biomass estimates and forest structure metrics at footprint level. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 11, p. 2786-2797, 2011.

PEURA, P.; HYTTINEN, T. The potential and economics of bioenergy in Finland. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 9-10, p. 927-945, 2011.

RAFAEL, S. et al. Atmospheric emissions from forest biomass residues to energy supply chain: A case study in Portugal. **Environmental engineering science**, v. 32, n. 6, p. 505-515, 2015.

RAZM, S. et al. A global bioenergy supply network redesign through integrating transfer pricing under uncertain condition. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 1081-1095, 2019.

REN21. Annual Report 2019. AIMS Mathematics. V.5, n. 1, p. i-v, 20200.

RITCHIER, H. Energy Mix. Disponível em: <https://ourworldindata.org/energy-mix>. Acesso em: 19 mar. 2021.

SEDJO, R. A. The economics of forest-based biomass supply. **Energy Policy**, v. 25, n. 6, p. 559-566, 1997.

SESSIONS, J. et al. Pricing forest biomass for power generation. **Western Journal of Applied Forestry**, v. 28, n. 2, p. 51-56, 2013.

SHABANI, N. et al. Tactical supply chain planning for a forest biomass power plant under supply uncertainty. **Energy**, v. 78, p. 346-355, 2014.

SHABANI, N; SOWLATI, T. A hybrid multi-stage stochastic programming-robust optimization model for maximizing the supply chain of a forest-based biomass power plant considering uncertainties. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 3285-3293, 2016.

SOSA, A. et al. Managing the moisture content of wood biomass for the optimisation of Ireland's transport supply strategy to bioenergy markets and competing industries. **Energy**, v. 86, p. 354-368, 2015.

STASKO, T. H. et al. Mapping woody-biomass supply costs using forest inventory and competing industry data. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 1, p. 263-271, 2011.

STERMAN, J. D; SIEGEL, L; ROONEY-VARGA, J. N. Does replacing coal with wood lower CO2 emissions? Dynamic lifecycle analysis of wood bioenergy. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 1, p. 015007, 2018.

TATSUHARA, S. Estimating Potential Woody Biomass Supply under Sustainable Timber Production from Plantation Forests in a Snowy Mountainous Region of Japan. **South-east European forestry: SEEFOR**, v. 11, n. 1, p. 29-39, 2020.

TEIXEIRA, E. B. A análise de dados na pesquisa científica: importância e desafios em estudos organizacionais. **Desenvolvimento em questão**, v. 1, n. 2, p. 177-201, 2003.

THAKUR, A; CANTER, Christina E.; KUMAR, A. Life-cycle energy and emission analysis of power generation from forest biomass. **Applied energy**, v. 128, p. 246-253, 2014

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207-222, set. 2003.

TUOMASJUKKA, D. et al. Sustainability impacts of increased forest biomass feedstock supply—a comparative assessment of technological solutions. **International Journal of Forest Engineering**, v. 29, n. 2, p. 99-116, 2018.

VALENTE, C; HILLRING, B. G; SOLBERG, B. Bioenergy from mountain forest: a life cycle assessment of the Norwegian woody biomass supply chain. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 26, n. 5, p. 429-436, 2011.

VENTURA, M. M. O estudo de caso como modalidade de pesquisa. **Revista SoCERJ**, v. 20, n. 5, p. 383-386, 2007.

VERKERK, P. J. et al. The realisable potential supply of woody biomass from forests in the European Union. **Forest ecology and management**, v. 261, n. 11, p. 2007-2015, 2011.

VIANA, H. et al. Assessment of forest biomass for use as energy. GIS-based analysis of geographical availability and locations of wood-fired power plants in Portugal. **Applied Energy**, v. 87, n. 8, p. 2551-2560, 2010.

YAGI, K; NAKATA, T. Economic analysis on small-scale forest biomass gasification considering geographical resources distribution and technical characteristics. **Biomass and bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 2883-2892, 2011.

YAMAMOTO, T; ARUGA, K; SHIRASAWA, H. Availability for small-scale woody biomass power generation from the view of forest resources in Tochigi Prefecture, Japan. **International Journal of Forest Engineering**, v. 30, n. 3, p. 210-217, 2019.

YEMSHANOV, D. et al. Cost estimates of post harvest forest biomass supply for Canada. **Biomass and Bioenergy**, v. 69, p. 80-94, 2014.

ZHANG, L. et al. Bioenergy power generation in Inner Mongolia, China: supply logistics and feedstock cost. **International Forestry Review**, v. 12, n. 4, p. 396-406, 2010.

ZHANG, M. et al. Trade-offs between economic and environmental optimization of the forest biomass generation supply chain in inner Mongolia, China. **Sustainability**, v. 9, n. 11, p. 2030, 2017.

WANG, Q.; WALTMAN, L. Large-scale analysis of the accuracy of the journal classification systems of Web of Science and Scopus. **Journal of Informetrics**, v. 10, n. 2, p. 347–364, maio 2016.

WOO, H. et al. Assessment techniques in forest biomass along the timber supply chain. **Forests**, v. 10, n. 11, p. 1018, 2019.

ⁱ Os autores agradecem à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ), termo de Outorga 046/2021 pelo apoio financeiro.