

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO AMBIENTAL

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO DE BIOCHAR COM PROCESSO DE PIRÓLISE PARA O TRATAMENTO DE PASSIVOS DE ATERROS INDUSTRIAIS: ÊNFASE NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Fabrício Weiss¹; Tailane Hauschild¹; Diosnel A. R. Lopez¹; Adriane L. Rodriguez¹; Tania Basegio²; Carlos Pérez Bergmann²; Luis Tarelho³; Ênio L. Machado¹. Aline Strothmann¹

¹Universidade de Santa Cruz do Sul/Unisc

²PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS

³Universidade de Aveiro – Portugal.

RESUMO

A produção de biochar, por processo de pirólise tem sido estudada no comparativo de impactos ambientais climáticos com avaliação do ciclo de vida (ACV) por diversos autores. Neste estudo bibliométrico foi aplicada a ferramenta VOSviewer 1.6.12 e a base de dados *Web of Science para* contabilizar o número de publicações. Desta forma foram considerados o período e os países, bem como, os autores com os artigos mais publicados sobre o tema escolhido e outros termos relacionados. Foram investigadas diversas combinações de termos para pesquisa, com *Life Cycle Assessment and Pyrolysis and Biochar*, sendo a mais ampla referência de publicações: 121 artigos. *Life Cycle Assessment and Pyrolysis and Catalytic* ofertou 14 artigos de pesquisa, tendo limitações quanto ao fato de não trabalhar com as chamadas amostras reais. Estados Unidos, China e Canadá aparecem como os países com maior número de publicações, sendo que os seis autores de maior destaque em número de artigos publicaram entre 4 e 6 artigos. No entanto, os termos de correlação investigados mostram em média interesse crescente de estudos nos últimos anos, especialmente entre 2015 e 2019. Além de *Life Cycle Assessment*, *ganham destaque na pesquisa os estudos de Life Cycle Perspective e Life Cycle GHG Emission*.

Palavras-chave: Análise bibliométrica; produção de biochar; pirólise; pirólise catalítica; ACV.

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF THE PRODUCTION OF BIOCHAR WITH THE PYROLYSIS PROCESS FOR THE TREATMENT OF LIABILITIES OF INDUSTRIAL LANDFILLS: EMPHASIS ON THE LIFE CYCLE ANALYSIS

ABSTRACT

The production of biochar, or coal, by the pyrolysis process has been studied in the comparison of climatic environmental impacts with life cycle analysis (LCA) by several authors. In this bibliometric study, the VOSviewer 1.6.12 tool and the Web of Science database were applied to account for the number of publications considering the period and countries, as well, the authors with the most published articles on the chosen topic and other related terms. . Various combinations of research terms were investigated, with Life Cycle Assessment and Pyrolysis and Biochar being the broadest reference of publications: 121 articles. Life Cycle Assessment and Pyrolysis and Catalytic offered 14 research articles, with limitations as to the fact that it does not work with the so-called real samples. United States, China and Canada appear as the countries with the largest number of publications, with the six most prominent authors published between 4-6 articles. However, the investigated correlation terms show on average growing interest in studies in recent years, especially between 2015 and 2019. In addition to Life Cycle Assessment, the Life Cycle Perspective and Life Cycle GHG Emission studies are highlighted in the research.

Keywords: Bibliometric analysis; biochar production; pyrolysis; catalytic pyrolysis; LCA.

1. Introdução

A destinação final de resíduos sólidos compõem uma fração que passa a ser considerada cada vez mais na composição dos preços dos produtos. A legislação ambiental brasileira, principalmente pela PNRS (BRASIL, 2010), reforçou a necessidade de reciclagem dos mais diversos tipos de resíduos, reafirmando a corresponsabilidade dos seus geradores pelo correto gerenciamento e destinação dos mesmos. O risco de exposição negativa da marca, relacionado com crimes contra o meio ambiente, promoveram a importação/desenvolvimento de tecnologias usadas em outros continentes. Essa preocupação não está ligada somente aos resíduos gerados comumente nos processos produtivos. Ganham cada vez mais importância os passivos ambientais existentes, seja na forma de estocagem dentro das empresas, seja na forma de disposição em aterros de resíduos industriais perigosos - ARIPE. A destinação de grande parte dos resíduos perigosos das indústrias do sul do País tinha como endereço as empresas de blendagem, com posterior destinação de co-processamento em indústrias cimenteiras (PENNA, 2017). Com a queda do setor da Construção Civil e conseqüentemente a redução na demanda por cimento, a vulnerabilidade desta forma de tratamento começou a afetar as empresas que até então consideravam neste nicho uma facilidade na destinação. A redução na produção de cimento gerou conseqüentemente a redução da aceitação de resíduos, culminando com a elevação dos custos de destinação, desenvolvendo interesse na busca de outras soluções tecnológicas para tratamento dos resíduos (PENNA, 2017).

Algumas tecnologias que até então eram apenas estudadas em artigos científicos, começaram a circular dentro do cenário industrial. Dentre elas a combustão dos resíduos em fornos, a gaseificação e a pirólise (WANG; NIU; ZHAO, 2019). Os mais diversos fatores estão atrelados ao tratamento do passivo existente nas dependências de fundações de proteção ambiental associadas com conjuntos de empresas em distritos industriais, dentre eles, a grande gama de resíduos, das mais diversas fontes geradoras.

A literatura enfatiza cada vez mais que Aterros Sanitários e Aripes são formas temporárias de armazenamento de resíduos, para que, com o desenvolvimento de tecnologias, possam recuperar esse passivo ambiental, retirando o valor energético contido neles e reduzindo os riscos ambientais decorrentes de contaminações, sejam por chorume, seja pela poluição atmosférica (KALYANI; PANDEY, 2014; ABDEL-SHAFY; MANSOUR, 2018).

O cenário mundial apresenta uma situação em que a maior parte da energia consumida atualmente provém de fontes não renováveis, esgotando os recursos naturais como carvão, petróleo e gás natural, deixando a população condicionada com variações de preços relativos a geração e fornecimento de energia elétrica. Conseqüentemente, a valorização dos estoques de materiais com poder calorífico em aterros e Aripes, tornaram-se “poupanças”, numa clara modificação de como devem ser vistos estes passivos. Esta potencialidade faz despertar o interesse de aplicação de processos como pirólise, pirólise catalítica e gaseificação, especialmente verificando suas potencialidades de ecoeficiência (PAO; FU, 2013). Assim sendo, este estudo envolveu o trabalho de análise bibliométrica para melhor embasar outros estudos futuros para construir cenários de aplicação do biochar a partir da pirólise ou pirólise catalítica dos resíduos estudados com referência para ecoeficiência indicada por estudos de avaliação do ciclo de vida.

2.OBJETIVO

Realizar levantamentos bibliométricos da literatura pertinente ao assunto “Avaliação do Ciclo de Vida – ACV do processo de pirólise e pirólise catalítica”.

3.METODOLOGIA

3.1 Análise Bibliométrica

A análise bibliométrica foi realizada utilizando o banco de dados da *Web of Science* (Clarivate Analytics, 2020). Essa plataforma foi selecionada devido ao banco de dados com controle de

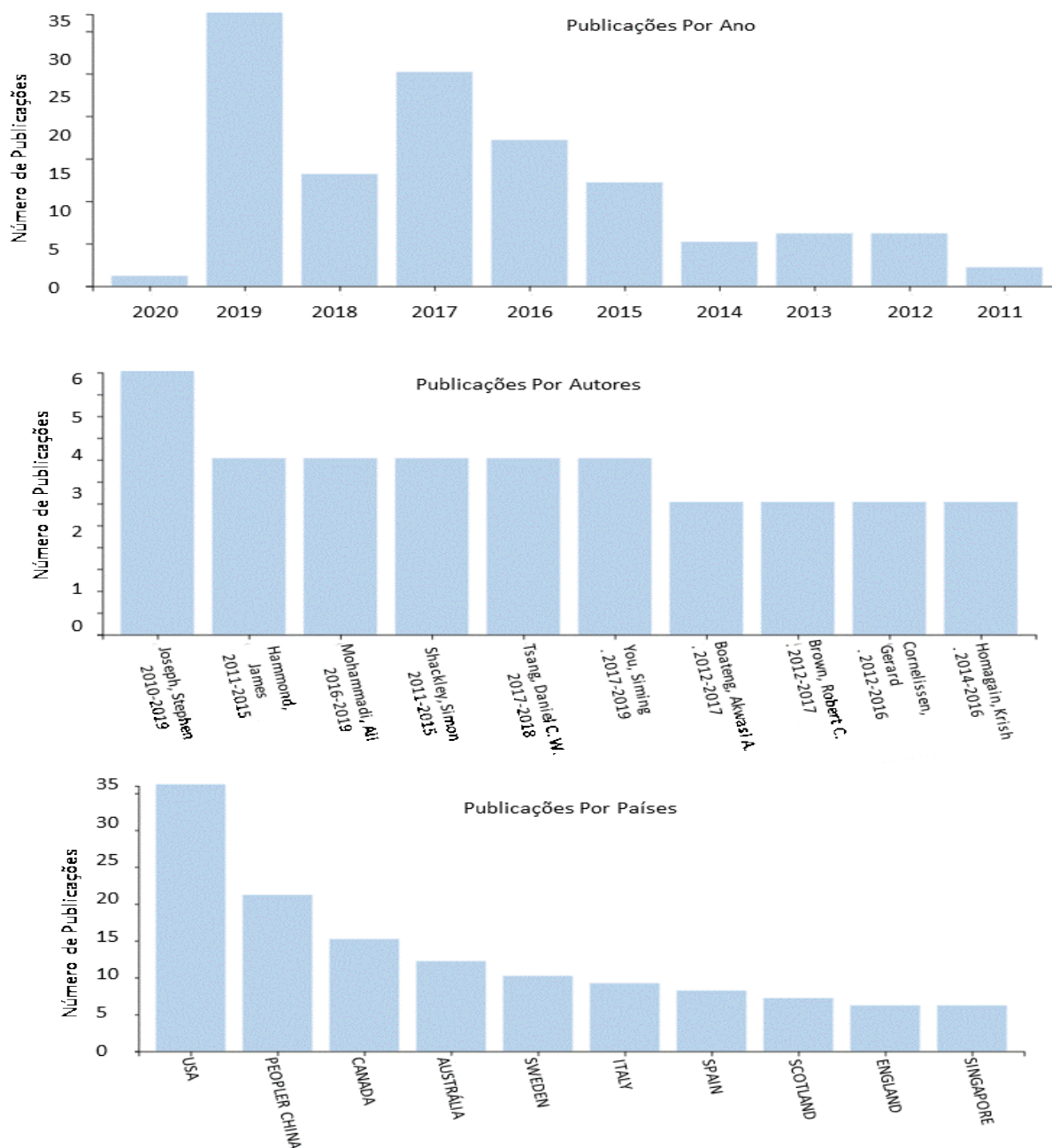
qualidade do material de pesquisa revisado por pares relacionados ao assunto de estudo. Os termos de pesquisa utilizados para as informações dos bancos de dados obtidos foi: *Life Cycle Assessment and Pyrolysis and Biochar*. A partir das informações acessadas no banco de dados, foi realizado um mapeamento bibliométrico no *VOSviewer software* (versão 1.6.12), considerando registros de todos os períodos e aplicando metodologia semelhante à recomendado por De Souza et al. (2019). As principais etapas do aplicativo *VOSviewer* consistiram em alimentar o *software* com o banco de dados para criar um mapa de termos de ocorrência com base em dados de texto, considerando palavras presentes nos campos título e resumo. Os termos foram extraídos pelo *software* usando a "contagem binária", método no qual apenas a presença ou a ausência de um termo é importante, enquanto o número de ocorrências de um termo em um documento não é levado em consideração. O número mínimo de ocorrências de um termo foi definido como 10, como padrão recomendação do *software*.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de *Biochar* com Processo de Pirólise – Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A Figura 1 mostra os dados bibliométricos inicialmente obtidos.

Figura 1. Dados de publicações relacionados ao termo de busca "*Life Cycle Assessment Pyrolysis Biochar*" a partir do banco de dados *Web of Science*.

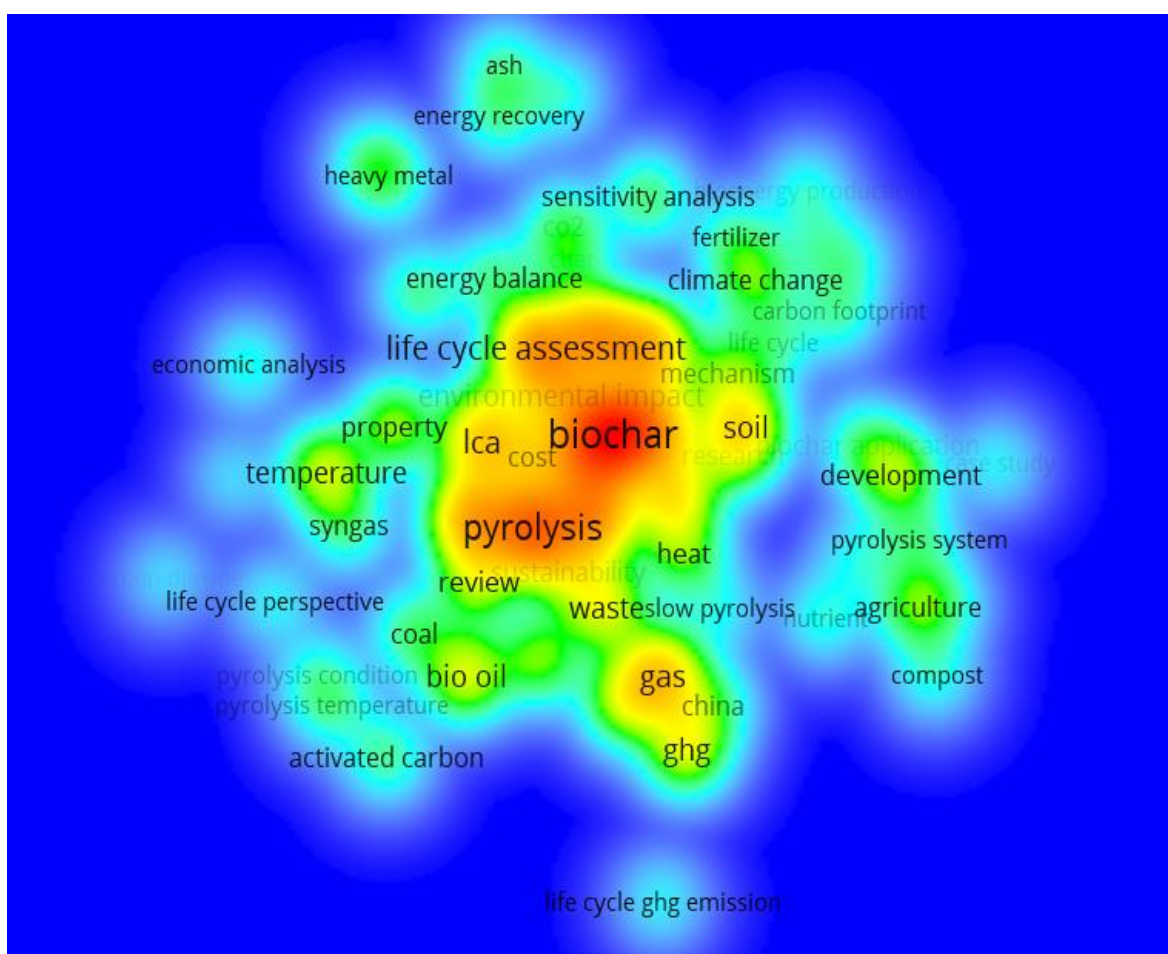


Todos os trabalhos apresentados nos dados da Figura 1 foram publicados em inglês, sendo que mais de 50% das publicações envolveram EUA, China e Canadá, tendo 2019 crescimento expressivo das publicações. Chama a atenção de países em desenvolvimento não ter expressiva publicação em um tema estratégico para este aspecto das tecnologias limpas. As áreas de pesquisa são expressivas em biotecnologia e microbiologia aplicada, engenharias, ciências ambientais e ecologia, bem como, agricultura. Outro aspecto relevante é que o cientista de destaque para o número de publicações é Stephen Joseph, australiano e, ligado a *Nanjing Agricultural University*, na República Popular da China, tendo seis trabalhos publicados sobre o tema entre 2010-2019 (WOOLF et al., 2010; YE et al., 2016; WENG et al., 2017; HAGEMANN et al., 2017; BIAN et al., 2018; ZWIETEN, et al., 2019).

Em uma das pesquisas com participação de Stephen Joseph, Mohamadi et al. (2019) publicaram o trabalho *Environmental analysis of producing biochar and energy recovery from pulp and paper mill biosludge*, onde os resultados dessa análise mostram que, do ponto de vista ambiental, a alteração

O cluster verde é relacionado com artigos de revisões sobre pirólise, produção de bio-óleo, gás de síntese e faixas de temperatura, bem como, o tempo de detenção para realização dos processos. O cluster azul tem relação direta com a avaliação do ciclo de vida, considerando principalmente a recuperação de energia e mudanças climáticas, associadas com o efeito estufa. Análise de sensibilidade, custos de operação, avaliação do ciclo de vida (ACV) produção de carvão ativado também são referenciados, mas com menor intensidade nos clusters. Já a Figura 3 apresenta um mapa bibliométrico baseado na visualização da densidade.

Figura 3. Mapa bibliométrico baseado na visualização de densidade do VOSViewer.



No VOSviewer, cada ponto que apresenta a visualização da densidade do item possui uma cor, o que indica a densidade dos itens naquele ponto / área. As cores podem variar de azul a verde, amarelo e vermelho (padrão de cores do arco-íris). O *software* organiza as cores para que quanto maior o número de itens na vizinhança de um ponto e maiores os pesos dos itens vizinhos, mais próxima a cor do ponto estará do amarelo. No entanto, quanto menor o número de termos em uma vizinhança de um ponto no mapa e, quanto menor os pesos dos itens vizinhos, mais próxima a cor da área será azul (ECK; WALTMAN, 2019).

O mapa bibliométrico da Figura 3 demonstra que para a ACV, análise de custos, aplicações ao solo do biochar e/ou carvão da pirólise, bem como, impactos ambientais, mecanismos de funcionamento do biochar e sustentabilidade são os itens mais fortemente relacionados com *Life Cycle Assessment and Pyrolysis and Biochar*. Em outro procedimento de análise podem ser separadas as correlações de cada uma das três palavras-chave selecionadas, como pode ser visto na Figura 4. Quando da combinação com pirólise catalítica, ao invés de pirólise, os trabalhos mais recentes aparecem

No entanto quando o tópico é somente ACV e pirólise e biochar pode ser observado na Figura 4 - A maior relação de ACV com mudanças climáticas. Para a Figura B as relações de Pirólise com resíduos, análise econômica e temperatura e, para a Figura C as relações de Biochar para compostagem e aplicações na agricultura como referências.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise bibliométrica permitiu verificar ainda a carência de dados para ACV no desenvolvimento de métodos, procedimentos e processos ligados com a produção de biochar, ou carvão, a partir do processo de pirólise. Especialmente quando o passivo envolve as chamadas amostras reais, são poucos os artigos encontrados e se for agregado pirólise catalítica, mais raros ainda serão os resultados. Portanto o termo merece aprofundamento de estudos visando o desenvolvimento de tecnologias limpas para estes processos.

6. Referências

DE SOUZA, M. P.; HOELTZ, M.; BRITTES BENITEZ, L.; MACHADO, Ê. L. *et al.* Microalgae and Clean Technologies: A Review. CLEAN–Soil, Air, Water, 47, n. 11, p. 1800380, 2019.

MOHAMMADI, A.; SANDBERG, M.; VENKATESH, G.; ESKANDARI, S. *et al.* Environmental analysis of producing biochar and energy recovery from pulp and paper mill biosludge. Journal of Industrial Ecology, 23, n. 5, p. 1039-1051, 2019.

CLARIVATE ANALYTICS. WEB OF SCIENCE. http://apps-webofknowledge.ez127.periodicos.capes.gov.br/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=8Bb7GrZGW24f5g14Rnm&preferencesSaved. Acessado em 10 de dezembro de 2019.

BRASIL (2010) Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União.

PENNA, P. C. Contribuição efetiva da indústria do cimento para a sustentabilidade. Panorama do Coprocessamento, Brasil, 2017. http://coprocessamento.org.br/cms/wp-content/uploads/2018/06/Panorama-coprocessamento_2017.pdf. Acessado em 15 de dezembro de 2019.

KALYANI, K.A.; PANDEY, K.K. Waste to Energy Status in India: A Short Review. Renewable and Sustainable. Energy Reviews. n. 31, p. 113-120, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.020>.

ABDEL-SHAFY, H. I.; MANSOUR, M. S. M. Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*. Egyptian Petroleum Research Institute. December 1, 2018.

WANG Y.; NIU, P.; ZHAO, H. Chemical looping gasification of coal using calcium ferrites as oxygen carrier. Fuel Processing Technology. V. 192, p. 75-86, ISSN 0378-3820, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.04.009>

PAO, H.-T.; FU, H.-C. Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 25, p. 381-392, 2013.

WENG Z.; VAN ZWIETEN L.; SINGH B. P.; TAVAKKOLI, E.; JOSEPH S.; MACDONALD L. M.; ROSE, M. T.; ROSE T. J.; KIMBER S. W. L.; MORRIS S.; COZZOLINO D.; ARAUJO J. R.; ARCHANJO B. S.; COWIE A. Biochar builds soil carbon over a decade by stabilising rhizodeposits. *Nature Climate Change*. 7, (5) 371-376, 2017.

HAGEMANN N.; JOSEPH S.; SCHMIDT H.P.; KAMMANN C. I.; HARTER, J.; BORCH, T.; YOUNG, R.B.; VARGA K.; TAHERYMOOSAVI, S.; ELLIOTT, K. W.; MCKENNA, A.; ALBU, M.; MAYRHOFER, C.; OBST, M.; CONTE, P.; DIEGUEZ-ALONSO, A.; ORSETTI, S.; SUBDIAGA, E.; BEHRENS S.; KAPPLER, A. Organic coating on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility. *Nature Communications*. V. 18, p. 1089, 2017.

YE, J.; JOSEPH S.; JI M.; NIELSEN, S.; JOSEPH S.; MITCHELL, D. R. G.; DONNE S.; WANG J.; HORVAT J.; MUNROE P.; THOMAS T. Chemolithotrophic processes in the bacterial communities on the surface of mineral enriched biochars, *ISME journal*, V. 1, n. 1-15, 2016.

WOOLF D.; AMONETTE J.E.; STREET-PERROTT F. A., LEHMANN J., AND S. JOSEPH. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communication*. V. 1, n. 56. doi: 10.1038/ncomms1053. 2010.

BIAN, R.; JOSEPH, S.; SHI, W.; LI, L.; TAHERYMOOSAVI, S.; PAN G. Biochar for plant promotion but not residual biochar for metal immobilisation depends on pyrolysis temperature *Pyrolysis*. STOTEN. n. 662, p. 571-580, 2018.

VAN ZWIETEN, L., KIMBER, S.; MORRIS, S.; MACDONALD, L. M.; RUST, J.; PETTY, S.; JOSEPH S. ROSE T. J. Biochar improves dairy pasture yields by alleviating P and K constraints with no influence on soil respiration or N₂O emissions. *Biochar*. 1, p 115-126, 2019.

ECK, N. J. V.; WALTMAN, L. Manual for VOSviewer version 1.6.10. Universteit Leiden, CWTS Meaningful metrics, 2019.

VAN SCHALKWYK, D. L.; MANDEGARI, M.; FARZAD, S.; GÖRGENS, J. F. Techno-economic and environmental analysis of bio-oil production from forest residues via non-catalytic and catalytic pyrolysis processes. *Energy Conversion and Management*. V. 213, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112815>. 2019.