

## **ANÁLISE DO POTENCIAL DE BIOMASSA FLORESTAL PARA A PRODUÇÃO DE BIOELETRICIDADE E SUA IMPORTÂNCIA NA ECONOMIA CIRCULAR: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA**

**MICHELE BEPPLER**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

**LUIZ MOREIRA COELHO JUNIOR**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

**EVANDRO FERREIRA DA SILVA**

**SYDNEY DE OLIVEIRA DIAS**

**JOICE MACHADO MARTINS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

### **Resumo**

No Brasil o acesso à eletricidade não é acessível a toda a população, embora seja uma tecnologia necessária para o desenvolvimento da sociedade, trazendo benefícios como o acesso a comunicação, conforto domiciliar, melhoria na educação, saúde e segurança. Apesar de em 2017 o acesso a energia elétrica ter sido proposto, pela Emenda à Constituição (PEC) nº 44, como direito social previsto no caput do art. 6º da Carta Magna, no Bioma Amazônia ainda existem áreas onde o fornecimento elétrico é inexistente ou limitado a condições específicas. (SENADO FEDERAL, 2024) Estima-se que 82.000 famílias (350.000 pessoas) ainda vivem sem eletricidade. (BRASIL 2020). Porém a matriz elétrica do Brasil é muito diferente da mundial, enquanto no restante do mundo apenas 28% da energia elétrica vem de fontes renováveis como a hidráulica, eólica e solar, aqui no Brasil chegamos a ultrapassar os 84% (EPE, 2024). Dentre as alternativas para produção de energia renovável tem-se também a produzida através da biomassa florestal, oriunda dos resíduos provenientes do manejo florestal. De acordo com Cozzi et al. (2013), a produção de biomassa florestal pode garantir o fornecimento de bioenergia, ao mesmo tempo que pode subsidiar a interação entre as políticas ambientais, geração de emprego, preservação e manutenção de áreas rurais. Segundo o SFB (2024), a política de concessão florestal permite aos governos federal, estaduais e municipais gerir os recursos naturais do patrimônio público e combater atividades ilegais como a grilagem de terras, o garimpo ilegal, o desmatamento e os incêndios florestais. A atividade gera benefícios sociais, ambientais e econômicos de longo prazo firmados em bases sólidas e sustentáveis. Considerando que a biomassa tem sido estudada devido ao seu potencial para substituir parcialmente os combustíveis fósseis, o Estado do Pará tem potencial para geração de energia devido sua concentração de áreas de concessão florestal do país, cerca de 867 mil ha (SFB, 2024), que resulta na geração de resíduos oriundos da exploração florestal e desdobro da madeira. Assim, surge a necessidade de se verificar a possibilidade do aproveitamento dos resíduos florestais provenientes do manejo florestal para a geração de bioeletricidade. Nesse contexto, a exploração florestal junto a geração de energia voltada para regiões remotas, subsidia a importância do conceito de economia circular que apresenta uma estratégia simples, mas convincente, que visa reduzir tanto a entrada de materiais virgens como a produção de resíduos, fechando os ciclos econômicos e ecológicos dos fluxos de recursos (HAAS et al. 2015). Esta nova atividade econômica, atrelada aos princípios da bioeconomia, aumentaria também a geração de empregos nas

comunidades, além do aumento da disponibilidade de energia elétrica, tendo como resultado proporcionar uma melhora na qualidade de vida dos habitantes da região. Para tanto, faz-se necessário estimar a quantidade de resíduos florestais gerados pelas áreas de concessão para que, através da determinação da quantidade de biomassa disponível seja possível calcular o potencial energético. Além disso, segundo Martins(2023), a obtenção de bioenergia é desafiadora e algumas problemáticas persistem, entre elas, tem-se a qualidade da biomassa para energia e o seu potencial de queima, localizações estratégicas que avaliem a distância da matéria-prima, mão de obra, polo consumidor e central de geração, a quantidade de biomassa disponível para atender uma termelétrica, o tempo de transporte entre o polo consumidor e gerador, o barateamento da matéria-prima e das etapas do processo de energia e a logística da cadeia de abastecimento que consiste na organização do transporte, armazenamento e distribuição. Para realizar a análise da viabilidade desse cenário da propositura é imprescindível realizar a revisão sistemática da literatura, com o objetivo de identificar a distribuição espacial das pesquisas realizadas na última década, bem como visualizar a análise temporal das publicações e citações e encontrar os termos mais utilizados nas publicações. Como resultado este estudo forneceu uma revisão bibliográfica sobre as metodologias e tecnologias utilizadas atualmente nas pesquisas relacionadas à bioeletricidade florestal. A partir da espacialização das publicações em relação a origem do pesquisador observou-se a predominância das publicações provenientes da União Europeia, uma possível justificativa a este fato seria a influência das legislações ambientais rígidas que cobram o aumento da produção de energia limpa, conforme objetivos estabelecidos no acordo de Paris (UNITED NATIONS, 2022). Com relação a queda das publicações e das citações observadas entre os anos de 2021 e 2023, é possível que o fato tenha decorrido em consequência da pandemia da COVID 19. Esta hipótese poderá ser verificada com a análise das publicações e citações dos próximos anos. Através da rede de palavras gerada foi possível ter uma visão da ligação entre os termos mais utilizados atualmente nos estudos publicados. Esta ferramenta mostrou-se útil pois pode auxiliar na escolha dos termos de busca a serem utilizados em pesquisas futuras, considerando a visão geral obtida com a análise da rede. Ela também se mostrou eficiente pois permitiu a identificação dos sinônimos utilizados com maior frequência..

### **Palavras Chave**

Bioeletricidade, Amazônia, Economia Circular

# **ANÁLISE DO POTENCIAL DE BIOMASSA FLORESTAL PARA A PRODUÇÃO DE BIOELETRICIDADE E SUA IMPORTÂNCIA NA ECONOMIA CIRCULAR: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA**

## **1 INTRODUÇÃO**

No Brasil o acesso à eletricidade não é acessível a toda a população, embora seja uma tecnologia necessária para o desenvolvimento da sociedade, trazendo benefícios como o acesso a comunicação, conforto domiciliar, melhoria na educação, saúde e segurança. Apesar de em 2017 o acesso a energia elétrica ter sido proposto, pela Emenda à Constituição (PEC) nº 44, como direito social previsto no caput do art. 6º da Carta Magna, no Bioma Amazônia ainda existem áreas onde o fornecimento elétrico é inexistente ou limitado a condições específicas. (SENADO FEDERAL, 2024) Estima-se que 82.000 famílias (350.000 pessoas) ainda vivem sem eletricidade. (BRASIL 2020). Porém a matriz elétrica do Brasil é muito diferente da mundial, enquanto no restante do mundo apenas 28% da energia elétrica vem de fontes renováveis como a hidráulica, eólica e solar, aqui no Brasil chegamos a ultrapassar os 84% (EPE, 2024). Dentre as alternativas para produção de energia renovável tem-se também a produzida através da biomassa florestal, oriunda dos resíduos provenientes do manejo florestal.

De acordo com Cozzi et al. (2013), a produção de biomassa florestal pode garantir o fornecimento de bioenergia, ao mesmo tempo que pode subsidiar a interação entre as políticas ambientais, geração de emprego, preservação e manutenção de áreas rurais.

Segundo o SFB (2024), a política de concessão florestal permite aos governos federal, estaduais e municipais gerir os recursos naturais do patrimônio público e combater atividades ilegais como a grilagem de terras, o garimpo ilegal, o desmatamento e os incêndios florestais. A atividade gera benefícios sociais, ambientais e econômicos de longo prazo firmados em bases sólidas e sustentáveis.

Considerando que a biomassa tem sido estudada devido ao seu potencial para substituir parcialmente os combustíveis fósseis, o Estado do Pará tem potencial para geração de energia devido sua concentração de áreas de concessão florestal do país, cerca de 867 mil ha (SFB, 2024), que resulta na geração de resíduos oriundos da exploração florestal e desdobro da madeira. Assim, surge a necessidade de se verificar a possibilidade do aproveitamento dos resíduos florestais provenientes do manejo florestal para a geração de bioeletricidade.

Nesse contexto, a exploração florestal junto a geração de energia voltada para regiões remotas, subsidia a importância do conceito de economia circular que apresenta uma estratégia simples, mas convincente, que visa reduzir tanto a entrada de materiais virgens como a produção de resíduos, fechando os ciclos econômicos e ecológicos dos fluxos de recursos (HAAS et al. 2015). Esta nova atividade econômica, atrelada aos princípios da bioeconomia, aumentaria também a geração de empregos nas comunidades, além do aumento da disponibilidade de energia elétrica, tendo como resultado proporcionar uma melhora na qualidade de vida dos habitantes da região.

Para tanto, faz-se necessário estimar a quantidade de resíduos florestais gerados pelas áreas de concessão para que, através da determinação da quantidade de biomassa disponível seja possível calcular o potencial energético. Além disso, segundo Martins (2023), a obtenção de bioenergia é desafiadora e algumas problemáticas persistem, entre elas, tem-se a qualidade da biomassa para energia e o seu potencial de queima, localizações estratégicas que avaliem a distância da matéria-prima, mão de obra, polo consumidor e central de geração, a quantidade de biomassa disponível para atender uma termelétrica, o tempo de transporte entre o polo consumidor e gerador, o barateamento da matéria-prima e das etapas do processo de energia e

a logística da cadeia de abastecimento que consiste na organização do transporte, armazenamento e distribuição.

Para realizar a análise da viabilidade desse cenário a propositura é imprescindível realizar a revisão sistemática da literatura, com o objetivo de identificar a distribuição espacial das pesquisas realizadas na última década, bem como visualizar a análise temporal das publicações e citações e encontrar os termos mais utilizados nas publicações.

## 2 METODOLOGIA

A pesquisa foi estruturada como uma revisão bibliográfica sistemática, a partir de artigos de pesquisa publicados entre 2013 e 2023, com o interesse em identificar estudos referentes à produção de bioeletricidade proveniente de resíduos florestais como matéria prima. A coleta das informações se deu entre os meses de maio e junho de 2024.

Para a execução de uma revisão sistemática da literatura é necessária uma pesquisa nas bases de dados acadêmicos e determinação de filtros de busca como tipo de literatura, escolha dos termos de busca, período, índices de impacto e por fim leitura dos documentos selecionados para finalizar a triagem. Além disso, todos os estudos selecionados são analisados para identificar e sintetizar as descobertas úteis para perspectivas futuras.

A primeira etapa desenvolvida foi o planejamento da revisão. O objetivo desta etapa foi o de encontrar as palavras chave mais adequadas para a posterior busca nas plataformas de pesquisa. Para atingir esse objetivo realizou-se uma busca exploratória no *google scholar*, seguida da leitura criteriosa de alguns resumos encontrados, com a finalidade de identificar os termos mais utilizados e seus sinônimos.

Na etapa seguinte foi realizada a busca na plataforma de banco de dados científicos. Para esta primeira revisão foi adotada a plataforma denominada de Scopus. Os motivos para a escolha desta plataforma foram, além da sua disponibilidade gratuita no portal de periódicos da CAPES a sua credibilidade, disponibilidade de dados e autenticidade apontada por Khurana et al. (2019) As palavras chave utilizadas foram aquelas encontradas na análise exploratória, da etapa de planejamento da revisão, que foram: “*biomass*”, “*forest*” e “*GIS*”.

Três pesquisas foram realizadas com esse grupo de palavras chave, na primeira utilizou-se a configuração “*biomass AND forest\**”, com o filtro de busca configurado para apenas títulos, resumo e palavras chave, resultando em 51.108 artigos encontrados. Na segunda utilizou-se a configuração “*biomass AND forest and GIS*” e se mantiveram os filtros da primeira pesquisa, resultando em 526 artigos encontrados. Na terceira e última pesquisa foram mantidas as palavras chave da segunda, porém foi realizada uma alteração nos filtros. Foi inserido o filtro de data, configurado para selecionar apenas artigos com data posterior a 2013 e no filtro do tipo de documento foi selecionada a opção para incluir apenas artigos e artigos de revisão. Esta configuração resultou em 323 artigos encontrados.

Visando facilitar a análise das amostras selecionadas, os dados foram exportados para uma planilha excel. As informações consideradas importantes para sintetizar a amostra, como título, resumo, autor, data de publicação, número de citações, etc, foram selecionadas para a exportação.

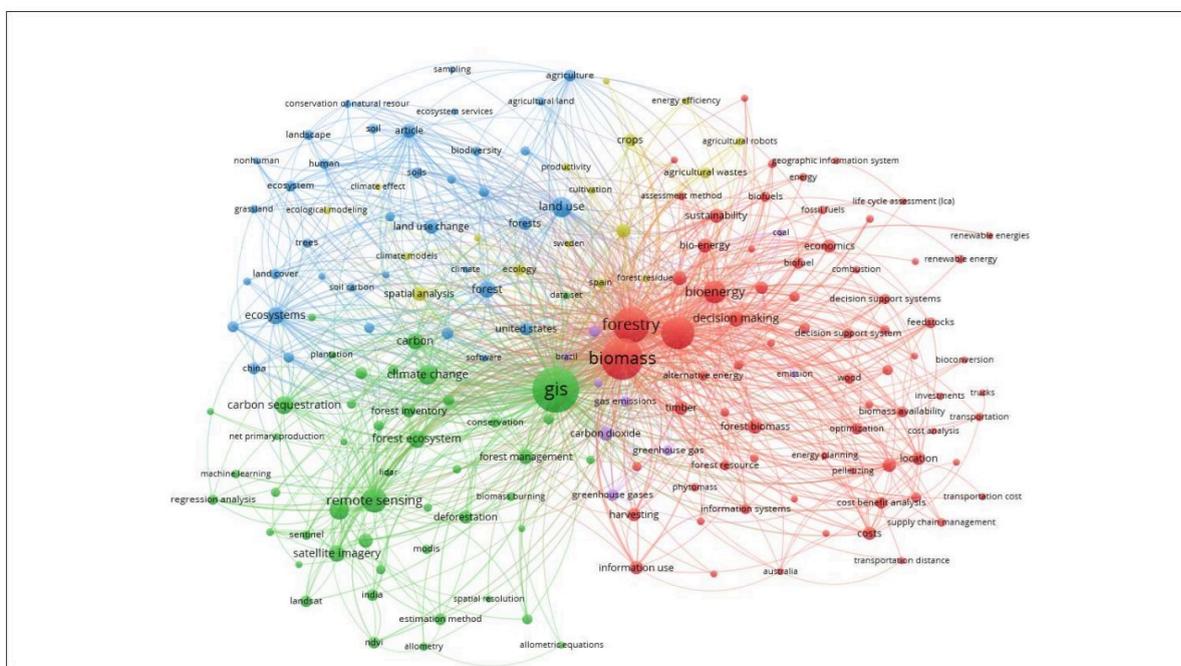
Por conseguinte foi realizada a leitura dos títulos com o objetivo de excluir os artigos que estariam fora do tema da pesquisa, onde foram descartados 156 artigos, permanecendo com 167. Na sequência foi realizada a leitura dos resumos dos 167 artigos classificados, onde eliminou-se 56 artigos, resultando em uma amostra de 111 estudos que estavam em consonância com o tema da pesquisa. Finalmente uma última amostra foi selecionada, através da exclusão dos estudos (49 artigos) que apresentavam número de citações inferior a 10, totalizando uma amostra com 62 documentos.

Este estudo ainda encontra-se em andamento e a próxima fase a ser executada será a leitura completa dos 62 artigos selecionados para a análise do estado da arte sobre o tema pesquisado.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aplicação da metodologia proposta obteve-se uma amostra final composta por 62 estudos. Verificou-se que a etapa de planejamento da revisão teve importância significativa na delimitação das buscas nas plataformas de pesquisa adotadas. Através dela se identificou os termos mais utilizados para a área da pesquisa, o que influenciou positivamente na seleção dos artigos. Na Figura 1 é possível observar a representação da rede de palavras-chave encontrada na amostra final selecionada. Foram selecionadas apenas as palavras que apareceram mais de 5 vezes na amostra, totalizando 182 palavras encontradas.

Figura 1: Rede de palavras-chave



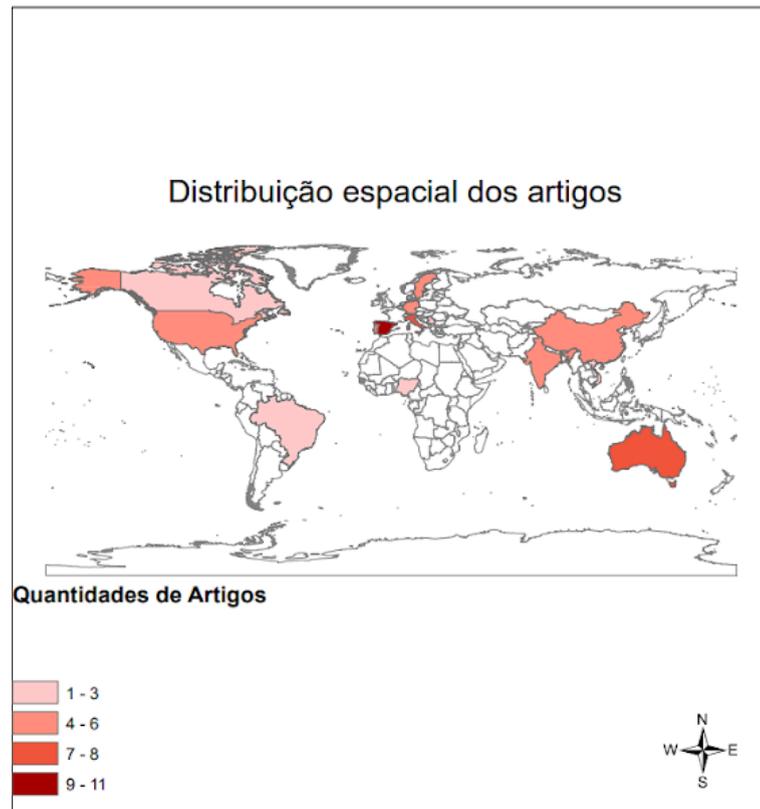
Fonte: autores.

O termo que apresentou maior frequência foi GIS, com 182 ocorrências contabilizadas. Na sequência apareceram Biomassa e Silvicultura com 147 e 111 ocorrências respectivamente. Ainda em relação às palavras com maiores frequências observou-se Bioenergia com 62 ocorrências, Floresta com 23 e Sensoriamento Remoto com 55 contadas.

Durante a análise bibliométrica da amostra selecionada foi realizada a espacialização dos artigos, em relação à origem dos autores. Para a confecção do mapa temático foi utilizado o software ArcGis versão 10.8. Foram encontrados artigos de 19 países, com representações de todos os continentes, sendo 3 países americanos, 1 africano, 1 da Oceania, 4 asiáticos e em maior quantidade, 10 países europeus. Na Figura 2 é possível verificar a espacialização da quantidade de artigos por país. Os países que apresentaram zero publicações foram excluídos da classificação, permanecendo em branco. Os que apresentaram maior quantidade de publicações foram a Espanha e a Itália, juntos foram responsáveis por 30% dos artigos selecionados. Em ordem decrescente vieram Austrália, China, EUA e Índia, que juntos foram

responsáveis por mais 30% dos artigos analisados. Bélgica, Japão, Nigéria, Polônia, Vietnã e Sérvia contabilizaram uma publicação cada. Alemanha, Finlândia, Portugal e Suécia publicaram 3 artigos cada. O Brasil ficou ao lado do Canadá e da República Tcheca com 2 publicações cada.

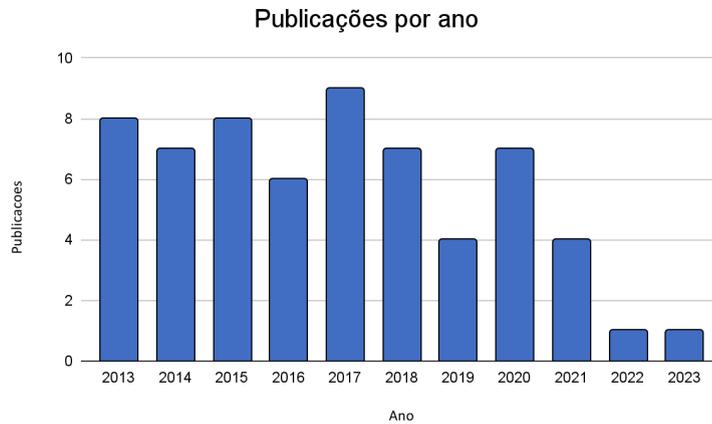
Figura 2: Distribuição espacial dos artigos



Fonte: autores.

Outro parâmetro bibliométrico analisado no conjunto de amostras foi a análise temporal do número de artigos publicados. De acordo com a Figura 3 é possível visualizar a evolução anual das publicações, bem como a quantidade acumulada em cada ano. Durante o espaço temporal de 2013 a 2023, o ano com maior número de publicações foi o de 2017 com 9 artigos publicados. Por outro lado, 2022 e 2023 foram os anos com menor número de publicações, sendo 1 artigo em cada ano. Entre o período de 2013 e 2020 é possível afirmar que houve uma estabilidade na quantidade de publicações, com exceção do ano de 2019 que apresentou uma queda acentuada. Já a partir de 2021 nota-se uma queda considerável nas publicações.

Figura 3: Análise temporal das publicações



Fonte: autores.

Com relação ao número de citações por ano, observa-se na Figura 4 que 2013 foi o ano com maior número de citações, chegando a um número de 325. Do outro lado está o ano de 2023 com apenas 13 citações. A mesma tendência de queda, a partir de 2021, observada na quantidade de publicações por ano, também pode ser observada na quantidade de citações por ano, os anos de 2021 e 2022 tiveram, respectivamente, 116 e 28 citações.

Figura 4: Análise temporal das citações



Fonte: autores.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo forneceu uma revisão bibliográfica sobre as metodologias e tecnologias utilizadas atualmente nas pesquisas relacionadas à bioeletricidade florestal.

A partir da espacialização das publicações em relação a origem do pesquisador observou-se a predominância das publicações provenientes da União Europeia, uma possível justificativa a este fato seria a influência das legislações ambientais rígidas que cobram o aumento da produção de energia limpa, conforme objetivos estabelecidos no acordo de Paris (UNITED NATIONS, 2022).

Com relação a queda das publicações e das citações observadas entre os anos de 2021 e 2023, é possível que o fato tenha decorrido em consequência da pandemia da COVID 19. Esta hipótese poderá ser verificada com a análise das publicações e citações dos próximos anos.

Através da rede de palavras gerada foi possível ter uma visão da ligação entre os termos mais utilizados atualmente nos estudos publicados. Esta ferramenta mostrou-se útil pois pode auxiliar na escolha dos termos de busca a serem utilizados em pesquisas futuras, considerando a visão geral obtida com a análise da rede. Ela também se mostrou eficiente pois permitiu a identificação dos sinônimos utilizados com maior frequência..

## REFERÊNCIAS

COZZI, M.; NAPOLI, F.; VICCARO, M.; ROMANO, S. Use of Forest Residues for Building Forest Biomass Supply Chains: Technical and Economic Analysis of the Production Process. **Forests**, v.4, p.1121-1140, 2013,

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2024 Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica> Acesso em 29/08/2024.

Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Heinz, M., 2015. Quão circular é o economia global?: uma avaliação dos fluxos de materiais, produção de resíduos e reciclagem na União Europeia e no mundo em 2005. **J. Ind. Ecol.** 19, 765e777. [https:// doi.org/10.1111/jiec.12244](https://doi.org/10.1111/jiec.12244).

KHURANA, P.; GANESAN, G.; KUMAR, G.; SHARMA, K. A Comparative Analysis of Unified Informetrics with Scopus and Web of Science, **Journal of Scientometric**, p 146-154, 2022.

MANGIAMELI, M.; MUSSUMECI, G.; ROCCARO, P.; VAGLIASINDI, F.G.A. Free and open-source GIS technologies for the management of woody biomass. **Applied Geomatics** v11, p 309–315, 2019.

MARTINS, J.M. **POTENCIALIDADES LOCACIONAIS PARA AS TERMOELÉTRICAS DE BASE FLORESTAL NO BIOMA AMAZÔNIA**, 2023, 139f Dissertação de mestrado apresentada ao PPGER - UFPB, João Pessoa.

SENADO FEDERAL, 2024. Disponível em: [https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/131846?\\_gl=1](https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/131846?_gl=1). Acesso em 25/08/2024.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB. Concessões Florestais. 2023. Disponível em: [Concessões e Monitoramento — Serviço Florestal Brasileiro \(www.gov.br\)](https://www.gov.br/sfb/pt-br/concessoes-monitoramento) . Acesso em 08/06/2024.

UNITED NATIONS. The Sustainable Development Goals Report. 2022. Disponível em: [The-Sustainable-Development-Goals-Report-2022.pdf \(un.org\)](https://www.un.org/sustainabledevelopment/2022-report/) Acesso em: 06 jun. 2024.