


**ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E MEIO AMBIENTE
ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

THAMARA FELLER CYSNE

**ANÁLISE AMBIENTAL DO PÓS
DESCOMISSIONAMENTO DE
PARQUES EÓLICOS**

**NITERÓI, RJ
2023**

**UNIVERSIDADE
FEDERAL
FLUMINENSE**



THAMARA FELLER CYSNE

**ANÁLISE AMBIENTAL DO PÓS DESCOMISSIONAMENTO DE PARQUES
EÓLICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador

Prof. Dr. Ricardo Abranches Felix Cardoso Júnior

Niterói, RJ
2023

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

C994a Cysne, Thamara Feller
Análise Ambiental do Pós Descomissionamento de Parques
Eólicos / Thamara Feller Cysne. - 2023.
40 f.

Orientador: Ricardo Abranches Felix Cardoso Júnior.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação)-Universidade
Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, 2023.

1. Descomissionamento. 2. Licenciamento Ambiental. 3.
Energia Eólica. 4. Produção intelectual. I. Cardoso
Júnior, Ricardo Abranches Felix, orientador. II. Universidade
Federal Fluminense. Escola de Engenharia.III. Título.

CDD - XXX

THAMARA FELLER CYSNE

**ANÁLISE AMBIENTAL DO PÓS DESCOMISSIONAMENTO DE PARQUES
EÓLICOS**

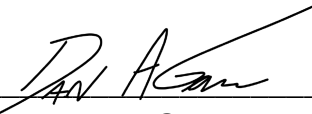
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Aprovada em 03 de julho de 2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Ricardo Abranches Félix Cardoso Júnior, DSc – UFF (Orientador)



Prof. Dan Abensur Gandelman, DSc – UFF



Prof^a Dirlane de Fatima do Carmo, DSc – UFF

A todos aqueles que acreditam
no poder da energia renovável
de transformar o mundo.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Allyne e Cesar, por todo suporte e ensinamentos. Minha mãe, por me ensinar a nunca desistir, ser resiliente e confiar sempre no meu potencial. Meu pai, por todos os conselhos profissionais e apoio em todos os meus sonhos. Vocês são os principais responsáveis por essa conquista. Obrigada por realizarem mais este sonho comigo de me tornar Engenheira Agrícola e Ambiental.

À minha avó, Myrian, que sempre teve o sonho de me ver chegar aonde estou hoje. Minha segunda mãe e minha inspiração. Conseguimos, vó!

Ao meu orientador, Ricardo Felix, por ter aceitado esse desafio e me guiado nessa jornada de forma leve. Agradeço pelos ensinamentos compartilhados.

Aos amigos que fiz durante a vida, em especial, à Victoria, por compartilhar todas as conquistas e dificuldades que tive para chegar até aqui; aos meus amigos do curso da Agrícola, em especial, Alexandre, Artur, Fred e Guilherme, sem vocês a jornada não seria a mesma; à Julia, por toda paciência e conselhos com este trabalho; e à minha grande amiga Beatriz, por sempre segurar a minha mão nos momentos difíceis não só da faculdade, mas como da vida profissional e pessoal.

E aos meus colegas de trabalho, Daniel e Gabriel. Agradeço por todo incentivo e flexibilidade que tiveram comigo durante todos esses anos e pelos ensinamentos profissionais. A contribuição de vocês para o meu conhecimento de renováveis e de licenciamento ambiental hoje são a minha base para a realização deste trabalho.

*Por mim
Ninguém sonhará meu sono
Ninguém haverá de sentir
O arrepio que sinto ao cruzar
Seu peito
Ninguém mais torrá a pele
Quando eu dormir ao sol
Ninguém cairá se o meu mundo
Se descolar do céu
Só eu
Por isso eu caminho nos sapatos antes de caminhar no chão*

Aposta - Tamara Klink

RESUMO

Com o fim da vida útil de um parque eólico, estimado a uma média de 20 anos e, embora existam medidas para melhorar o desempenho desses empreendimentos, há a necessidade de desenvolver uma gestão estratégica para a fase de descomissionamento, alinhada ao licenciamento ambiental. Hoje, não há uma estratégia definida e a falta de planejamento acarreta impactos socioambientais que não refletem a sustentabilidade prezada pelo mercado de energia renovável. Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo analisar a situação internacional de alguns países pioneiros, além da situação nacional, acerca da fase de pós operação de parques eólicos e discutir soluções que o mercado vem desenvolvendo a fim de minimizar estes impactos.

PALAVRAS-CHAVE: Descomissionamento; Licenciamento Ambiental; Energia Eólica

ABSTRACT

With the end of the useful life of a wind farm estimated at an average of 20 years and, although there are measures to improve the performance of these projects, there is a need to develop a strategic management for the decommissioning phase, aligned with the environmental licensing. Today, there is no defined strategy and the lack of planning leads to socio-environmental impacts that do not reflect the sustainability valued by the renewable energy market. In this sense, this work aims to analyze the international and national situation regarding the post-operation phase of wind farms and discuss solutions that the market has been developing in order to minimize these impacts.

KEYWORDS: Decommissioning; Environmental Licensing; Wind Energy

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Necessidades de investimento em plantas atuais versus necessários para modernização de plantas, 2021-2030	19
Figura 2: Fluxograma das etapas de um parque eólico	21
Figura 3: Médias da potência nominal da turbina, altura do eixo do hub e diâmetro do rotor por ano de entrada em operação comercial	23
Figura 4: Componentes de um aerogerador	24
Figura 5: Partes de uma pá antiga em um terreno isolado nos Estados Unidos	25
Figura 6: Reuso de pás em <i>playgrounds</i> na Holanda	25
Figura 7: Esquema de funcionamento das ilhas artificiais na Dinamarca	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de parques por período de instalação	19
Tabela 2: Pesquisa de Políticas de Descomissionamento nos Estados Membros do WIEB	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADEME - *Agence de la transition écologique*

ALMACO - Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos

DPR - *Decommissioning Plan Report*

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GW - Gigawatt

GWEC - *Global Wind Energy Council*

IEA - *International Energy Agency*

IMO - *International Maritime Organization*

MME - Ministério de Minas e Energia

ONU - Organização das Nações Unidas

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas

WIEB - *Western Interstate Energy Board*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3. JUSTIFICATIVA	17
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA	18
4.1 Contexto Mundial e Posicionamento do Brasil na Energia Eólica	18
4.2 Descomissionamento	20
4.3 Tecnologia e Obsolescência	22
4.4 Resíduos e suas Destinações de um Aerogerador	23
4.5 Análise de Casos de Descomissionamentos Internacionais	27
4.5.1 Dinamarca	27
4.5.2 França	28
4.5.3 Reino Unido	29
4.5.4 Estados Unidos	30
4.5.5 Canadá	31
5. MATERIAL E MÉTODOS	32
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
7. CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

A partir da Idade Média, teve-se o aprimoramento das tecnologias e, conseqüentemente, desenvolvimento de melhores moinhos, que hoje são conhecidos como aerogeradores, propiciando a otimização de diversas atividades a partir da força eólica. Com o surgimento da eletricidade, as turbinas eólicas puderam, enfim, ser implementadas com o objetivo de geração de energia elétrica. A Segunda Guerra Mundial também foi um marco na contribuição da história da energia eólica, no qual os países, com o objetivo de economizar em combustíveis fósseis, investiram na evolução dos aerogeradores de grande e médio porte.

Alinhado a isso, a energia eólica é um aliado perante as mudanças climáticas e a descarbonização da economia e processos industriais. Hoje, este é o maior desafio socioambiental que a humanidade está enfrentando, e com a redução das emissões de carbono, através da descarbonização, espera-se alcançar uma economia pautada em emissões reduzidas de gases de efeito estufa, a fim de neutralizar o clima. Este processo está alinhado com a transição energética e as energias renováveis são os principais atores. O Brasil possui grande vantagem nesse cenário, já que é um país de tamanho continental e, portanto, há espaço geográfico para instalação de usinas eólicas, além de um preço de mercado competitivo para este mercado e um dos melhores recursos eólicos do mundo.

Logo, para acompanhar os objetivos mundiais de descarbonização da economia, bem como o desenvolvimento das tecnologias, é necessário ter um plano de ação para os parques eólicos em implantação e operação, considerando sua vida útil de 20 a 30 anos. É importante que essas áreas nas quais estes parques estão localizados, não sejam invalidados após o fim de sua vida útil. Pode-se considerar, também, a repotenciação do parque, mas o que será feito com os equipamentos da turbina eólica após a sua pós-operação?

Na Europa, continente pioneiro no desenvolvimento e construção de parques eólicos, este tema já é bastante discutido, visto que na atual década, muitos aerogeradores estão perto e/ou no fim de sua vida útil. Portanto, podemos usá-los como referência e estudo para aplicações e adaptações para o descomissionamento dos parques brasileiros, visto que, até 2030 mais de 50 parques alcançarão a faixa dos 20 anos de operação (EPE, 2021).

Este trabalho visa analisar ambientalmente as ações ao final da vida útil dos equipamentos de aerogeradores ao fim da fase de operação do empreendimento. Identificar os desafios e alternativas para o descomissionamento destes parques, alinhado aos objetivos socioambientais, é essencial para que essas ações sejam ambientalmente corretas e economicamente viáveis.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar ambientalmente as ações pós final da vida útil dos equipamentos das turbinas eólicas na fase de descomissionamento do parque eólico.

2.2 Objetivos específicos

- Descrever as técnicas existentes de desativação e destinação dos equipamentos de um aerogerador, considerando os aspectos ambientais da fase de descomissionamento;
- Analisar as lições de alguns países europeus pioneiros no pós-operação de seus parques;
- Avaliar a obsolescência da tecnologia;
- Discutir acerca dos papéis dos principais *stakeholders* envolvidos no processo de melhoria da fase de descomissionamento.

3. JUSTIFICATIVA

O tema do descomissionamento é comum a todos os países que possuem energia eólica na sua matriz energética. Devido ao número considerável de parques eólicos estarem chegando ao fim de sua vida útil, evidencia-se que ainda não há diretrizes internacionais bem como um plano nacional definido de como realizar e planejar o descomissionamento. É necessário entender as ações hoje realizadas após o final da vida útil dos equipamentos, do ponto de vista ambiental, e analisar as possíveis alternativas e seus respectivos desafios e vantagens para que o planejamento seja eficaz e possíveis impactos mitigados. Por fim, é uma questão no qual todos os envolvidos na cadeia, desde fabricantes até empreendedores e órgãos públicos, devem se responsabilizar no seu respectivo papel na contribuição da construção de planos diretores para a fase da pós-operação do empreendimento.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

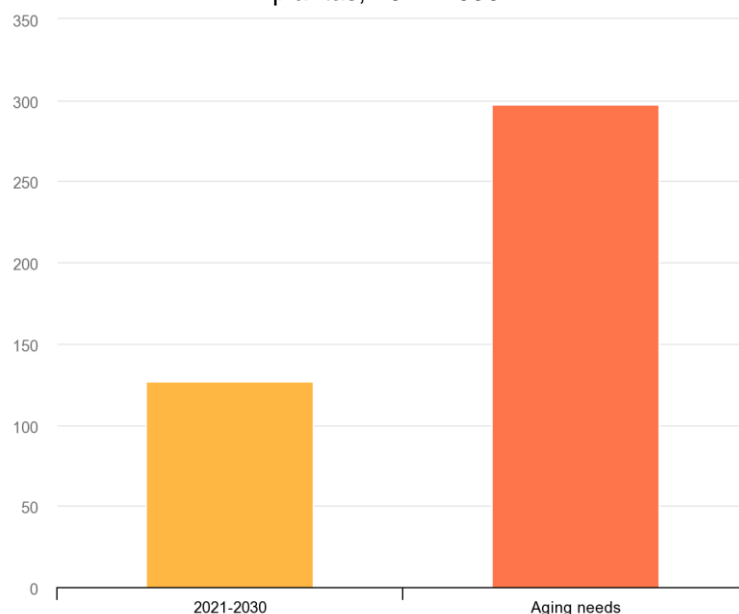
4.1 Contexto Mundial e Posicionamento do Brasil na Energia Eólica

A energia advinda dos ventos é utilizada há milênios para o beneficiamento de atividades agrícolas e bombeamento de água (ARGOU *et al.*, 2019). Os primeiros registros históricos do uso de moinhos são datados na Pérsia por volta de 200 a.C. Na Europa, o país de destaque para utilização desta tecnologia foi a Holanda, que entre os séculos XVII e XIX, usou os moinhos para bombear água e drenar áreas abaixo do nível do mar. A partir do desenvolvimento da eletricidade, o principal uso da energia eólica passou a ser para a geração de energia elétrica, pois, com a Revolução Industrial, o uso convencional dos moinhos de ventos já não fazia mais sentido e os combustíveis fósseis ganharam força. Portanto, fez-se necessário a adaptação do seu uso. Este fato foi agravado pela crise do petróleo nos anos 70, o qual impulsionou o desenvolvimento dos aerogeradores em escala comercial (BURTON *et al.*, 2001).

Ainda em 1972, a Conferência de Estocolmo, promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU), fomentou a discussão acerca da utilização de fontes renováveis de energia em detrimento dos combustíveis fósseis. O Brasil, um dos integrantes desta conferência, se destaca pelas suas dimensões continentais. Possui diversos recursos naturais e, por isso, hoje é destaque no ranking internacional de capacidade de energia eólica *onshore*. Segundo o relatório *Global Wind Energy Council* (GWEC) de 2022, o Brasil teve destaque pelo seu crescimento, saltando de 1 gigawatts (GW) de potência instalada em 2011 para 21 gigawatts em janeiro de 2022, ficando em sexto lugar no ranking. A China lidera, com 310,6 gigawatts de potência instalada. Registra-se ainda que, hoje no Brasil, a energia eólica é a segunda maior fonte de geração de energia, atrás apenas da hidráulica.

Segundo a *International Energy Agency* (IEA), entre os anos de 2021 e 2030, as plantas renováveis que necessitarão de mais investimentos, em bilhões de dólares, são aquelas que estão ao fim de sua vida útil, indicado como *aging needs* na Figura 1, em comparação com as plantas atuais. Percebe-se que o descomissionamento é um desafio para plantas de geração de energia em geral.

Figura 1: Necessidades de investimento em plantas atuais versus necessários para modernização de plantas, 2021-2030



Fonte: IEA, 2022

No Brasil, o parque eólico mais antigo teve o início da sua operação em 1998. A partir de 2002, com a instituição do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA), foram firmados inúmeros contratos de geração de energia com duração de 20 anos, evidenciando novamente a chegada do fim da vida útil desses empreendimentos. Na Tabela 1, é possível observar a quantidade de aerogeradores que foram instalados até 2019, e, principalmente, os instalados até 2010 que chegarão ao fim da sua vida útil até 2030.

Tabela 1: Classificação de parques por período de instalação

Período	Tempo de Operação (anos)	Potência Adicionada (MW)	Número de usinas	Classificação por Faixas de Potência (nº de usinas)				
				0 a 1MW	1 a 5MW	5 a 15MW	15 a 30MW	> 30MW
1998 a 2000	20 a 23	17,5	3	0	2	1	0	0
2001 a 2005	15 a 20	12,6	5	1	4	0	0	0
2006 a 2010	10 a 15	910,5	43	2	18	4	8	11
2011 a 2015	5 a 10	6744,9	266	3	4	32	194	33
2016 a 2019	1 a 5	7742,6	312	4	1	26	259	22

Fonte: EPE, 2021

Portanto, é nítido que os países vêm investindo e aumentando a sua potência instalada a cada ano. A partir desse cenário, tem-se uma intensificação do descomissionamento dos parques eólicos e este ainda é um tema pouco discutido a

nível nacional e internacional. Evidencia-se, então, a necessidade de um planejamento acerca desta etapa do licenciamento ambiental.

4.2 Descomissionamento

O fim do ciclo de vida de um parque eólico se inicia com o fim da sua fase de operação, seja por desejo do empreendedor pela troca de tecnologia, conhecida como repotenciação, ou pelo fim do contrato acordado em leilões e mercados livres de energia.

É recomendado que um projeto eólico tenha uma vida útil de no mínimo 20 anos (EPE, 2021). Esta estimativa é levada em consideração para cálculos de modelagens e testes de protótipos dos equipamentos. Além disso, as condições climáticas do local e aumento da necessidade de manutenção dos equipamentos com o passar dos anos, também devem ser analisadas para este cálculo.

Realizar a repotenciação não é uma tarefa simples. Cada parque eólico tem os seus equipamentos feitos sob medida para o local e características eólicas de onde o parque será instalado. Principalmente as pás, que necessitam de um balanço aerodinâmico e o encaixe certo para o seu tipo de nacelle. Portanto, para realocar esses equipamentos em outro parque eólico ou atualizar a tecnologia do parque, são necessários estudos e planejamentos financeiros a fim de realizar tal atividade. Quando a repotenciação não é uma opção atrativa para o empreendedor, tem-se o descomissionamento do parque. Define-se o termo como o encerramento de uma atividade de produção ao final de sua vida produtiva, considerando os âmbitos de meio ambiente, engenharia e aspecto social (RUIVO, 2001).

A finalidade do descomissionamento pode variar de acordo com o objetivo que se tem na destinação dos equipamentos de um aerogerador, podendo ser para reutilização em outro parque eólico, revenda, reciclagem, inutilização ou demolição. As etapas descritas a seguir são detalhadas segundo cada objetivo (CanWEA 2020).

- **Desmontagem para revenda, reciclagem ou inutilização:** Este tipo de descomissionamento é mais rápido que o processo para reutilização, já que não há a necessidade de inspeção, preservação e acondicionamento desses equipamentos. São encaminhados para outros usos, podendo ou não serem utilizados em um parque eólico, ou descartados. É importante destacar que,

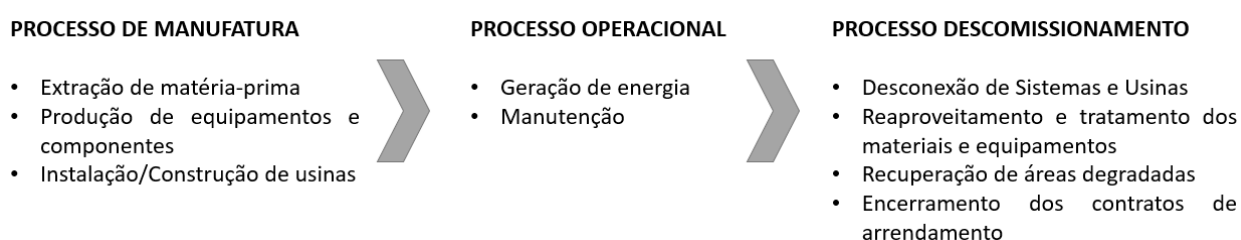
assim como para a etapa de instalação do parque, é preciso a mobilização de maquinários para a desmobilização.

- Demolição: é a derrubada das torres e desmonte dos equipamentos. Processo simplificado de forma que não há a necessidade de mobilização de grandes maquinários. Nestes casos pode ocorrer também o descomissionamento de estruturas associadas, como linhas de transmissão e subestações.

Seja qual for a finalidade do descomissionamento, é importante planejar o descarte e destinação dos equipamentos, visto que a desativação de um parque eólico acarreta impactos nas áreas ambientais e sociais (FERRELL; DEVUYST, 2013). Esses impactos podem ser imediatos como a suspensão dos contratos de arrendamento com os proprietários (ORNELLAS et al., 2020) e geração de poeira e ruídos.

Segundo Ornellas *et al.* (2020), as fases de um parque eólico podem ser resumidas em três etapas, conforme ilustrado na Figura 2, no qual caracteriza-se na terceira etapa a fase de descomissionamento. Para a autora, este é um tema ainda pouco difundido e que deveria ser atrelado ao contrato de energia do empreendimento.

Figura 2: Fluxograma das etapas de um parque eólico



Fonte: Adaptado de ORNELLAS *et al.*, 2020

Seguindo a ideia de difundir este tema, não basta que só os empreendedores tenham este debate. É necessário incluir os órgãos ambientais e governos a fim de delimitar as ações de cada ator na fase de descomissionamento.

No Brasil, Tereza (2019) realizou uma pesquisa com alguns órgãos ambientais estaduais e nacionais com o propósito de explicar a opinião desses

institutos acerca do tema. Os seguintes pontos devem ser destacados sobre o resultado da pesquisa:

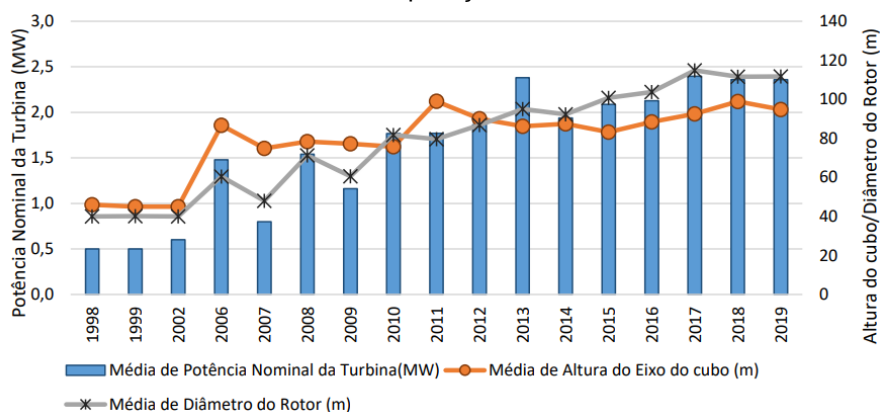
- Não há consenso sobre se deve ou não existir um tipo de licença específico para a desativação do parque;
- Deve ser de competência estadual a sua fiscalização;
- Sobre a destinação dos equipamentos e resíduos gerados no descomissionamento, a melhor opção seria a logística reversa.

É nítido que não há consenso quando se trata de descomissionamento. Alguns autores sugerem a criação de uma quarta licença ambiental, enquanto outros defendem que esta etapa deve ser prevista na fase de operação, sendo pertencente, então, à licença de operação. No entanto, pode-se afirmar que, independentemente do caminho a ser seguido, deve haver um plano de desativação do parque. Alinhado a esta estratégia, são necessárias políticas públicas a fim de regulamentar e legalizar o processo de descomissionamento e descarte de equipamentos.

4.3 Tecnologia e obsolescência

Desde a primeira utilização de um aerogerador para geração de energia elétrica até os dias de hoje, o desenvolvimento da tecnologia teve um grande salto. O mercado de energia eólica hoje necessita da entrega de soluções mais eficazes com o menor custo de energia possível. Para tal, houve um aprimoramento na altura das torres e no diâmetro das turbinas, sendo possível, então, um aumento na potência nominal dos aerogeradores (EPE, 2021). Na Figura 3 é possível acompanhar essa evolução no Brasil. A diferença para as turbinas dos primeiros parques em 1998 para as dos parques de 2019 é perceptível.

Figura 3: Médias da potência nominal da turbina, altura do eixo do hub e diâmetro do rotor por ano de entrada em operação comercial



Fonte: EPE, 2021

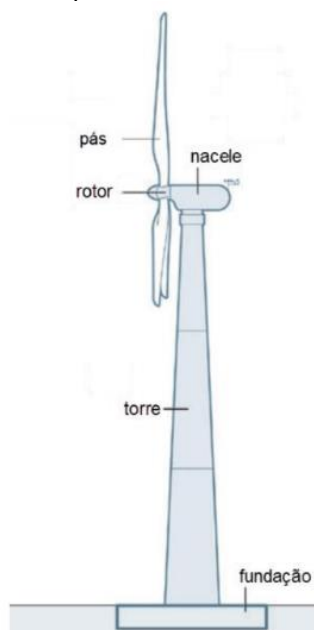
Este é um fenômeno comum a todos os países que investem em energia eólica. O desenvolvimento da tecnologia e modernização dos equipamentos ocorrerá em todas as áreas de conhecimento. Por tanto, já é esperado que as máquinas instaladas na década de 90 estejam obsoletas comparadas as máquinas desenvolvidas atualmente. O mesmo pode ocorrer em relação às máquinas atuais em relação aos futuros parques em um prazo de 30 anos. A ocorrência do descomissionamento não é um episódio isolado e único, todos os parques instalados irão passar pelo processo de descomissionamento ou repotenciação.

É evidente, então, a necessidade de planejamento no âmbito público e privado para esta etapa. E, no âmbito privado, especialmente empreendedores e fornecedores. Os equipamentos produzidos para a primeira instalação do parque, ao reportar a necessidade de atualização de tecnologia, o primeiro tipo de equipamento instalado pode não estar mais em fabricação, o que leva uma oneração de gastos, visto que pode ser necessária a troca de outros equipamentos em conjunto. Apesar do aprimoramento na geração de energia, em termos de GW por turbina, gerar mais renda ao empreendedor, é preciso um estudo para avaliar se é vantajoso para o projeto o descomissionamento total ou repotenciação.

4.4 Resíduos e suas Destinações de um Aerogerador

Os aerogeradores costumam apresentar os seguintes componentes em sua composição: fundação, torre, nacele, rotor e três pás. Na Figura 4 é representada a localização destes equipamentos.

Figura 4: Componentes de um aerogerador



Fonte: MACHUCA, 2015

Em relação a composição destes componentes, tem-se diversos materiais presentes e cada equipamento pode diferenciar entre si essa composição. As torres podem ser feitas de aço ou de concreto armado. As primeiras são 98% recicláveis. Já as segundas, possuem diferentes destinações como processamento para separação do aço e do concreto (no qual ambos podem ser reciclados), utilização do concreto granular em estradas e construções ou destinação final em aterro sanitário (MACHUCA, 2015). Em relação ao rotor e nacelle, que são compostos por, principalmente, metais, a reciclagem também é uma opção. Já as pás, são compostas por fibra de vidro e epóxi, o que dificulta o processo de reciclagem, sendo o equipamento de maior preocupação ambiental. A propriedade química da resina epóxi apresenta uma substância resiliente que se acredita ser o componente com mais dificuldade de quebrar em componentes reutilizáveis e por isso, por muitos anos, terminaram descartadas em terrenos isolados para incineração (MISHNAEVSKY, 2021), conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5: Partes de uma pá antiga em um terreno isolado nos Estados Unidos



Fonte: MISHNAEVSKY, 2021

As pás são o principal componente que devem ter maior atenção na sua destinação, visto a complexidade de reciclagem dos materiais. Para Machuca (2015), as pás podem ser redimensionadas e remodeladas a fim de ter uma outra aplicabilidade como aplicados em playgrounds, desde que tomados os devidos cuidados, como ilustrado na Figura 6. Além disso, caso seja considerada a reciclagem, destinação ambientalmente mais favorável e que permite revenda, demanda trituração e aplicação de métodos onerosos e em caráter experimental; já incineração, embora necessite de trituração, possibilita o seu uso para geração de energia térmica; e a disposição em aterro sanitário, que embora pareça a destinação mais simples das analisadas, é a que causa maiores preocupações ambientais e já foi desestimulada em diversos países europeus.

Figura 6: Reuso de pás em *playgrounds* na Holanda



Fonte: MEDICI, 2011

Em uma tentativa de mudar o cenário da reciclagem das pás à base de epóxi, a Vestas, empresa dinamarquesa e uma das maiores produtoras de turbina eólica, desenvolveu uma técnica para a reciclagem deste equipamento em parceria com empresas químicas e de reciclagem que foi apresentada no início de 2023. Segundo a Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos (ALMACO), a solução é um processo químico no qual decompõe quimicamente a resina epóxi em materiais de grau virgem. A empresa acredita que a solução pode ser expandida para o mercado rapidamente e já ser utilizada em pás que hoje se encontram em aterros sanitários ou até em operação. Após as primeiras reciclagens, a Vestas pretende confeccionar as novas pás a partir do material retirado das pás antigas.

Para destacar outras iniciativas recentes de reciclagem pós descomissionamento, tem-se o projeto piloto divulgado também em 2023 pela Acciona, empresa espanhola de promoção e gestão de infraestruturas de energias renováveis, através do seu *site* institucional. Com foco na economia circular, a empresa reutiliza a fibra de vidro presente nas pás eólicas em desuso para integrar as vigas de torção das estruturas de apoio da energia fotovoltaica. A concorrente também espanhola, Siemens Gamesa, entregou a primeira turbina eólica do mundo com pás 100% recicláveis. A tecnologia, chamada pela empresa de *ReyclableBlade*, foi divulgada também no *site* institucional da empresa e consiste em uma resina e, pela sua estrutura química, separa os materiais para reutilização. A instalação foi realizada em 2022, no parque eólico *offshore* Kaskasi, na Alemanha.

Em relação ao Brasil, ainda não há uma regulamentação específica para os resíduos de um aerogerador. Porém, pode-se usar como direcionamento a lei brasileira nº 12.305 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e que regulamenta a gestão de resíduos sólidos (BRASIL, 2010). A partir dos direcionamentos da PNRS, os resíduos gerados a partir do descomissionamento dos parques eólicos se enquadram na classificação de resíduos industriais. Portanto, cabe ao empreendedor elaborar o respectivo plano de gerenciamento de resíduos sólidos referente ao descomissionamento e não somente referente a fase de instalação e operação. Porém, a mesma lei prevê que a responsabilidade deve ser compartilhada com todos os setores que atuam no ciclo de vida dos equipamentos, como produtores, distribuidores, comerciantes, consumidores e agentes públicos. Reforça-se, então, a instituição de políticas públicas que demarquem os papéis de cada ator desta cadeia.

A fim de contornar o problema atual de reciclagem dos componentes do aerogerador, uma alternativa é a substituição dos materiais hoje utilizados nestes equipamentos. O mercado tem estudado a possibilidade da utilização de fibras ou madeiras de base biológica e/ou biodegradável. Outra alternativa é o compósito termoplástico, que possui seu ciclo de fabricação mais curto, possibilidade de união sem adesivos adicionais e reciclagem por aquecimento. E, por fim, a incorporação estrutural do bambu, que também possui alta resistência (MISHNAEVSKY, 2021).

4.5 Análise de Casos de Descomissionamentos Internacionais

Alguns países europeus e americanos iniciaram a geração de energia a partir de parques eólicos antes do Brasil. Deste modo, estes países já passaram pelo momento que o Brasil está passando, que se refere ao pós-operação destes parques (EPE, 2021). É válido a análise desses países, a fim de conhecer e aprimorar as técnicas de descomissionamento. Portanto, será analisado os principais países que possuem esta experiência e legislações vigentes no assunto. São eles: Dinamarca, França, Reino Unido, Estados Unidos e Canadá.

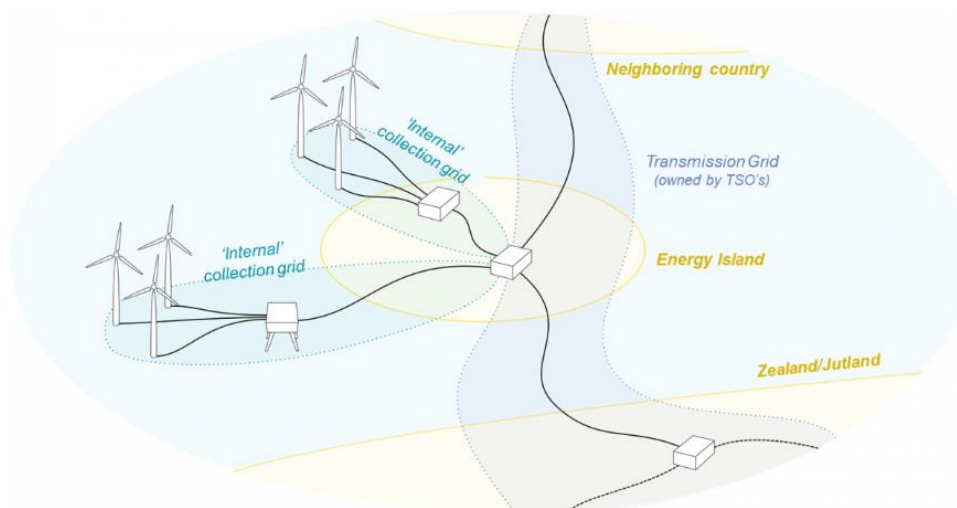
Atualmente, a legislação ambiental na Europa tem se tornado mais restritiva, o que é um empecilho para uma possível repotenciação. Logo, mais parques eólicos tendem a ser descomissionados com o passar dos anos. Segundo relatório da *Wood Mackenzie* de 2019, cerca de 65 Gigawatt (GW) de capacidade instalada na Europa atingirão o fim da vida útil de 20 anos até 2028.

4.5.1 Dinamarca

Na Dinamarca, os governos locais definem as diretrizes para o descomissionamento ainda na fase de licenciamento e este deve ser iniciado até após um ano do fim da operação (KHATTAR, 2020). Devido ao pouco espaço geográfico, o país se antecipou neste tema e tem grande investimento na energia eólica, principalmente com a criação de ilhas artificiais para instalação de parques. Segundo a *Danish Energy Agency*, essas ilhas permitem que as turbinas *offshore* possam ser alocadas mais distante da costa, conforme ilustrado na Figura 7, e a energia gerada

seria concentrada e distribuída para a Dinamarca e outros países da Europa a partir da ilha artificial.

Figura 7: Esquema de funcionamento das ilhas artificiais na Dinamarca



Fonte: DANISH ENERGY AGENCY, 2021

Como obrigações do empreendedor, a licença de instalação assume a responsabilidade pelo descomissionamento e restauração do solo ao seu estado original. Um plano integrado de descomissionamento deve ser apresentado pelo menos 2 anos antes do descomissionamento final. Pelo foco do país em eólicas *offshore*, também devem ser seguidas as diretrizes para o Mar do Norte, são elas: os regulamentos internacionais, de organizações como a *International Maritime Organization* – IMO e regionais como, por exemplo, o acordo OSPAR (JOHAN FINSTEEN GJØDVAD; IBSEN, 2016).

Em relação aos resíduos, o Artigo 2 da Lei de Proteção Ambiental de 2016 estabelece que os municípios devem adotar regulamentos sobre a separação de resíduos de construção, sua alocação, demolição e notificação de suas quantidades (KHATTAR, 2020).

4.5.2 França

O tratamento e reciclagem de turbinas eólicas na França é regulamentado pelo *Code de l'Environnement* (Código Ambiental, art. R.515-106). Nesta lei, o descomissionamento é estabelecido como de responsabilidade do empreendedor do parque eólico. Durante a construção do empreendimento, a lei obriga o empreendedor

a provisionar o valor do futuro descomissionamento. O valor, fixado por despacho ministerial, é de 50.000 € para um aerogerador de potência < ou = 2 MW. Para uma turbina eólica > 2 MW, € 10.000 são adicionados por MW adicional.

Hoje, segundo a *Agence de la Transition Écologique* (Agência de Transição Ecológica - ADEME), aproximadamente 90% dos equipamentos de uma turbina eólica são reciclados e seus diversos componentes são tratados por canais de reciclagem. As peças metálicas (aço, cobre, ferro fundido, alumínio) são totalmente recicladas. O concreto é reutilizado sob a forma de agregados, ou para a fabricação de novo concreto (por exemplo, para reforço das estradas privadas ao redor do parque eólico). As pás são mais difíceis de reciclar, mas podem ser trituradas e recuperadas como combustível ou serem utilizadas na fabricação de estruturas urbana, como parque infantil e bancos. E, em relação aos resíduos, devem ser caracterizados como inertes, não inertes e não perigosos ou não inertes e perigosos, e tratados de acordo com a hierarquia dos resíduos descrito no Código Ambiental (KHATTAR, 2020).

Em relação a recuperação do local do empreendimento, é exigido a escavação total das fundações, exceto se uma avaliação de impacto ambiental recomendar a não o fazer. As fundações escavadas são substituídas por terra com características semelhantes à terra do local próximo à instalação (KHATTAR, 2020).

4.5.3 Reino Unido

Os parques eólicos do Reino Unido, após o final do prazo das suas respectivas outorgas, precisam ser descomissionados e o local deve ser restaurado para o seu uso anterior à chegada do parque. Em relação às fundações das turbinas, não há legislação especial em vigor. Os requisitos de descomissionamento são definidos nas condições de planejamento de cada projeto. A autoridade que concede o consentimento pode incluir requisitos para a restauração da terra a uma condição aceitável como parte do processo de aprovação do planejamento (KHATTAR, 2020). Portanto, o descomissionamento já é condicionado ao processo de licenciamento e os custos previstos. Recentemente, em julho de 2018, foi promulgada a *National Planning Policy Framework*, na qual os parques podem passar por uma avaliação de propostas a fim de estender sua vida útil com a repotenciação. Em 2019, 22 parques foram aprovados para a repotenciação e 2 foram desativados. No entanto, não há ferramenta legal que institui a disposição final dos resíduos dos aerogeradores.

4.5.4 Estados Unidos

Para os parques eólicos nos Estados Unidos, com legislações diferentes para cada município (*County*), o regulamento de retirada de fundações varia em demasiado (MACHUCA, 2015). O descomissionamento também é previsto no licenciamento de alguns estados, o local deve retornar ao seu uso original e os custos previstos são de responsabilidade do empreendedor. Já para a repotenciação, é solicitado um novo licenciamento ambiental. Apesar da prática de repotenciação ter surgido no país, este ainda não tem esse mercado plenamente estabelecido.

Segundo a *Western Interstate Energy Board* (WIEB), os estados e províncias pertencentes à organização (11 estados americanos ocidentais e duas províncias ocidentais canadenses) possuem regulamentos e políticas promulgadas associadas ao descomissionamento de usinas eólicas que variam amplamente (BARAN, 2020). Na Tabela 2 é mostrado em quais estados membros possuem requerimentos a nível estadual e/ou local para a atividade de descomissionamento.

Tabela 2: Pesquisa de Políticas de Descomissionamento nos Estados Membros do WIEB

Estado/Província	Requerimentos a nível estadual/provincial	Requerimentos a nível local
Alberta	SIM	-
Arizona	-	-
British Columbia	-	-
California	-	SIM
Colorado	-	SIM
Idaho	-	SIM
Montana	SIM	-
Nevada	-	-
New Mexico	-	SIM
Oregon	SIM	-
Utah	-	-
Washington	-	-
Wyoming	SIM	SIM
Nebraska*	-	-
South Dakota*	SIM	-
Texas*	SIM	-
*Membros não oficiais do WIEB		

Fonte: Adaptado de BARAN, 2020

4.5.5 Canadá

Neste país norte-americano, em 2009, foi instituída uma lei que estabelece que os empreendedores devem apresentar o *Decommissioning Plan Report* (DPR) antes da implementação do empreendimento e este deve apresentar os seguintes itens: descrição do descomissionamento, gestão de resíduos gerados nesta etapa e plano de recuperação do local no qual o parque foi instalado (*MINISTRY OF THE ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE, 2009*). Este relatório é obrigatório e deve ser aprovado pelo Ministério de Meio Ambiente e Mudanças Climáticas.

Apesar de ser elaborado ainda na fase de desenvolvimento do projeto, exige que o empreendedor considere as atividades de descomissionamento propostas e identifique os efeitos ambientais negativos que provavelmente resultarão do descomissionamento e delinear possíveis medidas de mitigação quando o projeto ainda estiver sendo planejado. Além disso, o município deve ser notificado com antecedência se as atividades de descomissionamento forem afetar, por exemplo, o tráfego local, devendo, então o DPR ser atualizado seis meses antes do início (*GOVERNMENT OF ONTARIO, 2023*). Em relação à atividade eólica, o governo canadense cita as principais ações do descomissionamento para esta atividade:

- Desmontagem e remoção de componentes da turbina, incluindo pás, nacelle, torre e transformadores
- Remoção de cabos, vias de acesso (em consulta com o proprietário do terreno, se aplicável), plataformas de guindastes/áreas de assentamento, linhas de transmissão/distribuição, edifícios, transformadores.
- Remoção da base do aerogerador em extensão compatível com o provável uso futuro.
- Remoção de quaisquer linhas elétricas subterrâneas.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente trabalho se fez necessário a revisão bibliográfica acerca do histórico da energia eólica no âmbito mundial a partir da Idade Média a fim de compreender as transformações nas finalidades das atividades com uso da força eólica. Para o cenário brasileiro, com o primeiro parque eólico instalado em 1998, fez-se o recorte temporal a partir desta data para o entendimento da situação atual e futura dos parques eólicos.

Além disso, o entendimento do termo descomissionamento é crucial para o desenvolvimento do trabalho. Para tal, foram estudados os trabalhos das pesquisadoras Lívia Fernanda Tavares Ornellas, de 2020, da Mônica Nassar Machuca, de 2015, ambas referências no mercado brasileiro, e o estudo de 2021 acerca da vida útil dos parques eólicos realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), empresa coligada ao Ministério de Minas e Energia (MME).

Por ser um assunto comum a vários países, o entendimento de como os países que antecederam a fase de descomissionamento antes do Brasil é fundamental a fim de entender as políticas internacionais e servir de direcionamento para o planejamento brasileiro. Escolheu-se os países pioneiros no descomissionamento para retratar as políticas instituídas por estes. Os países principais são da Europa, Estados Unidos e Canadá. Em complementação, também são expostas as soluções hoje encontradas no mercado desenvolvidas por alguns destes países.

E por fim, são explanados os tipos de resíduos encontrados no descomissionamento de um aerogerador. Compreender os tipos de equipamentos e suas composições são a base para entender a produção de resíduo a fim de planejar seus gerenciamentos e tratamentos.

A partir dos conhecimentos apresentados no capítulo anterior, é possível compreender, analisar e criticar a situação do descomissionamento de parques eólicos no âmbito internacional e nacional.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fase de descomissionamento, apesar de ser uma das últimas opções, é inevitável para qualquer parque eólico instalado. É um desafio administrar esta fase do projeto, assegurando a sustentabilidade defendida pela fonte renovável, em conformidade com princípios, além de contribuir para a transição da economia linear para a circular. O presente trabalho buscou analisar ambientalmente as ações para o fim da vida útil dos equipamentos de aerogeradores durante a fase de descomissionamento do parque eólico.

Os resíduos gerados, em um geral, são comuns a todos os países. As técnicas apresentadas de destinação dos resíduos são semelhantes, no entanto, não necessariamente são dispostos da maneira correta e a falta de diretrizes legais são um dos fatores para essa ocorrência.

Ao iniciar-se esta etapa, tem-se consequências imediatas em relação ao social e ambiental. Pode-se esperar impactos no local no qual foi implementado o empreendimento. Uma das consequências é a suspensão dos contratos de arrendamento com os proprietários. A fim de mitigar este efeito, deve ser dialogado com antecedência com o proprietário e explicar como será realizada a saída do empreendimento. Outro impacto a se atentar nesta fase é a geração de poeira e ruído advindo da circulação de caminhões, semelhante à fase de instalação do parque. Para este impacto, também deverão ser aplicadas medidas cabíveis de mitigação, como umidificação do solo antes da passagem do caminhão e monitoramento de ruídos.

Além disso, pode-se dizer que o impacto ambiental é grande e pouco regularizado neste tema. Em comparação com a repotenciação, o impacto ambiental no descomissionamento é maior, visto que o primeiro se dá no local onde havia um parque eólico previamente. Quanto às pás, já foi sinalizado a complexidade na sua reciclagem e representam o equipamento de maior desafio. O mercado vem construindo novas soluções para implementar peças mais sustentáveis, porém a grande maioria se encontra em projetos pilotos e pouco difundidos na implementação dos empreendimentos. É preciso investir em pesquisa e desenvolvimento de forma a buscar uma ação efetiva que possa realizar uma destinação nobre em grande escala desse equipamento (ORNELLAS *et al.*, 2020). Os demais componentes têm maiores oportunidades de serem reaproveitados e dispostos com sustentabilidade, se realizados de forma adequada.

A obsolescência tecnológica é uma realidade presente desde o início da tecnologia. Deve-se atentar à esta questão, pois esta pode reduzir o tempo de vida útil de um aerogerador, estimado em média de 20 anos, trazendo à tona o descomissionamento antes do tempo esperado. Esta é uma indicação que o governo deve propor leis e diretrizes sobre o tema desde já.

O tema é de comum interesse no âmbito internacional e, alguns países já possuem diretrizes iniciais sobre o tema. A Dinamarca segue, principalmente, as diretrizes internacionais marítimas para eólicas *offshore*. A França segue a regulamentação do código ambiental francês e possui valores estabelecidos para a realização do provisionamento econômico do descomissionamento. Em relação ao Reino Unido, possui processos semelhantes aos outros países, porém ainda carece de legislações mais robustas. Já os Estados Unidos, por ser um país de grandes continentes, possui legislações diferentes para cada município e, conseqüentemente, para cada estado americano. Pode-se dizer que o tema é abordado no licenciamento americano, porém não é algo comum e regularizados em todos os estados. Por fim, o Canadá é o que possui maior arcabouço legal em relação a fase de descomissionamento e este é rígido quanto às exigências ao empreendedor.

Ainda não há um país com uma diretriz completa, porém os países que foram citados neste trabalho possuem experiência e organização considerável para que o Brasil possa se espelhar neste e adaptar para a realidade brasileira. É interessante que o Brasil tenha seu arcabouço legal de forma federativa e não semelhante à estrutura estadunidense. E como citado nas respectivas leis de cada país, o descomissionamento deve ser, principalmente, de responsabilidade do empreendedor, com o apoio legal de seu país. A PNRS é uma base considerável para início da discussão e deve ser incluído o tema de pós operação a fim de complementar a legislação brasileira.

Importante destacar que a cadeia eólica deve ser pensada como um todo ao se realizar o descomissionamento. Para tanto, é necessário ter estratégias de descomissionamento integradas no projeto desde o início do seu desenvolvimento, bem como uma articulação com o órgão ambiental responsável, além da verificação das condições dos acessos e planejamento da separação e correta destinação dos resíduos. O descomissionamento é uma das etapas que mais gera resíduo juntamente com a fase de instalação.

Em resumo, os principais desafios na fase de descomissionamento são a falta de soluções técnicas em escala comercial para os resíduos e falta de padronização de procedimentos técnicos para desmonte. Por tanto, há a necessidade de inclusão da fase de descomissionamento no licenciamento ambiental. E, para isso, cada *player* deve atuar na sua área a fim de contribuir com melhores soluções para esta etapa. Prestadores de serviço podem apoiar a identificar soluções e oportunidades que apliquem prática de sustentabilidade; em relação aos fabricantes, estes podem desenvolver técnicas de reabsorção dos materiais em seus processos produtivos; os empreendedores podem solicitar soluções dos fabricantes sobre a destinação nobre dos equipamentos e investir em pesquisas que busquem soluções para minimizar os impactos; e o poder público deve desenvolver um ambiente de debate sobre o tema e impulsionar o desenvolvimento de procedimento que traga segurança técnica e jurídica para essa etapa.

7. CONCLUSÕES

A escolha da ação mais apropriada para cada empreendimento, por parte do empreendedor, deve passar por avaliações técnicas, econômicas, ambientais e regulatórias. A etapa de descomissionamento pode ser uma oportunidade para o mercado, além de uma iniciativa interessante ao perfil sustentável para os países.

A reutilização, reciclagem, recuperação e refabricação de pás de turbinas eólicas ao final de sua vida útil, representam um desafio para a indústria energética, acarretando custos adicionais. A questão deve ser resolvida em sua raiz, com o desenvolvimento de pás de turbinas eólicas sustentáveis e recicláveis, para evitar o reaparecimento desses problemas no futuro. As disposições finais encontradas no mercado hoje não são suficientes para suprir a sustentabilidade do processo.

Recomenda-se fomentar discussões no setor quanto ao planejamento energético a longo prazo e nas agências ambientais quanto a inclusão do descomissionamento no licenciamento ambiental. O desenvolvimento de tecnologia que facilite, garanta agilidade e segurança no processo de desmonte para uma destinação nobre deve ser incluso nas estratégias e planejamentos.

Os países citados neste trabalho possuem diretrizes semelhantes em relação ao descomissionamento e o Brasil pode se utilizar de referência internacionais para estabelecer seu arcabouço legal quanto ao tema. Pelos equipamentos e tipo de processo de construção ser semelhante, não só o Brasil, mas outros países podem se espelhar em normas internacionais e adaptar para suas respectivas realidades.

O Brasil possui uma política de resíduos notável e que serve como base para qualquer processo de gestão de resíduos, incluindo os resíduos do descomissionamento. Porém, apenas esta diretriz não é suficiente e deve haver discussão sobre a regulamentação de toda a cadeia. Este é um assunto urgente que, devido à obsolescência tecnológica, os parques previstos para descomissionar em 20 anos, podem necessitar desta ação antes do tempo esperado.

As questões referentes ao fim da vida útil operacional de parques eólicos se tornarão cada vez mais relevantes no Brasil e os agentes devem começar a se planejar e ao administrar esta fase do projeto, deve-se assegurar a sustentabilidade defendida pela fonte renovável.

Pode-se dizer, portanto, que o presente trabalho atingiu os objetivos esperados. Ainda há bastante debate a ser feito sobre o tema que, apesar de já ser

discutido em alguns países, é uma temática relativamente nova para o mercado de eólica. O descomissionamento é um objeto de estudo atual, que deve ser regulamentado assim como todas as fases do licenciamento ambiental de um parque eólico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGOU, E. *et al.* Aspectos históricos da energia eólica no Brasil e no mundo. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 4, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/65759/38008>. Acesso em: 21 mar. 2023.

BARAN, E. **Issue Brief: Wind Decommissioning -Policies in the West**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: https://www.westernenergyboard.org/wp-content/uploads/WindDecommissioningIssueBrief_20200114.pdf.

BURTON, T *et al.* Wind Energy Handbook. **Chichester**: John Wiley & Sons, p.642, 2001.

CanWEA. **Decommissioning/Repowering a Wind Farm**. **Canadian Wind Energy Association**. Disponível em: <https://canwea.ca/communities/decommissioningrepowering-wind-farm>. Acesso em: 09 jul. 2023.

DANISH Energy Agency. Denmark's Energy Islands. **Danish Energy Agency**, Copenhagen, 2021. Disponível em: <https://ens.dk/en/our-responsibilities/energy-islands/denmarks-energy-islands>. Acesso em: 12 abr. 2023.

ENERGYNEWS. Parque eólico Kaskasi: Abertura do parque eólico offshore na Alemanha. **Energynews**, 2023. Disponível em: <https://energynews.pro/pt-br/parque-eolico-kaskasi-abertura-do-parque-eolico-offshore-na-alemanha/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

Environment and energy. [s. l.], 2023. Disponível em: <https://www.ontario.ca/document/technical-guide-renewable-energy-approvals/guidance-preparing-decommissioning-plan-report>. Acesso em: 18 jun. 2023.

FERRELL, S. L.; DEVUYST, E. A. Decommissioning wind energy projects: an economic and political analysis. **Energy Policy**, Oklahoma, v. 53, p. 105-113, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421512008750>. Acesso em: 23 mar. 2023.

Global Wind Report 2022 - Global Wind Energy Council. [s. l.], 2022. Disponível em: <https://gwec.net/global-wind-report-2022/>. Acesso em: 17 jun. 2023.

GOV.BR. Brasil sobe para a sexta posição em ranking internacional de capacidade de energia eólica onshore. **Gov.br**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2022/04/brasil-sobe-para-a-sexta->

posicao-em-ranking-internacional-de-capacidade-de-energia-eolica. Acesso em: 21 mar. 2023.

IBERDROLA. Descarbonização. **Iberdrola**, 2023. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/quem-somos/descarbonizacao-economia-principios-aco-es-regulacao#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20descarboniza%C3%A7%C3%A3o%3F,clim%C3%A1tica%20atrav%C3%AAs%20da%20transi%C3%A7%C3%A3o%20en erg%C3%A9tica>. Acesso em: 17 mar. 2023.

IEA, Actual vs required investment needs for modernisation of plants globally, 2021-2030. **IEA**, Paris, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts?energy%5B0%5D=renewables>. Acesso em: 12 jun. 2023.

JOHAN FINSTEEN GJØDVAD; IBSEN, M. ODIN-WIND: **An Overview of the Decommissioning Process for Offshore Wind Turbines**. p. 403–419, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-39095-6_22. Acesso em: 19 jun. 2023.

JOI. História da Energia Eólica. **Energês**, 25 mai. 2020. Disponível em: <https://energes.com.br/historia-da-energia-eolica/#:~:text=A%20energia%20e%C3%B3lica%20%C3%A9%20conhecida,mercado%20em%20barcos%20a%20vela..> Acesso em: 17 mar. 2023.

KHATTAR, D. **Decommissioning of Onshore Wind Turbines - REGlobal - Policy Watch**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://reglobal.co/decommissioning-of-onshore-wind-turbines/#:~:text=UK%3A%20There%20is%20no%20special,turbine%20foundations%20in%20the%20UK..> Acesso em: 19 jun. 2023.

MACHUCA, Mônica Nassar, Análise Ambiental, técnica e econômica da pós operação de parque eólico, Trabalho de conclusão de curso, Florianópolis, SC, 2015.118p.

MEDICI, I. P. Human Health Risk Assessment of “Wikado” playground. **Healthy Building Network**, 2011. Disponível em: <http://www.woodguide.org/files/2014/09/Human-Health-Risk-Assessment-Wikado.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2023.

MINISTRY OF THE ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE. **O. REG. 359/09: Checklist for Requirements under O. Reg. 359/09. Supplement to Application for Approval of a Renewable Energy Project**. Ontario, Canada, p.19, 2009. Disponível em: [http://www.forms.ssb.gov.on.ca/mbs/ssb/forms/ssbforms.nsf/GetFileAttach/7746E~1/\\$File/7746E.pdf](http://www.forms.ssb.gov.on.ca/mbs/ssb/forms/ssbforms.nsf/GetFileAttach/7746E~1/$File/7746E.pdf). Acesso em: 04 abr. 2023.

MISHNAEVSKY, L. Sustainable End-of-Life Management of Wind Turbine Blades: Overview of Current and Coming Solutions. **Materials**, v. 14, n. 5, p. 1124, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma14051124>. Acesso em: 12 abr. 2023.

Offshore wind farm decommissioning AN ORIENTATION OF POSSIBLE ECONOMIC ACTIVITY IN THE SOUTH HOLLAND REGION AND THE ROTTERDAM PORT AREA smartport.nl. [S. l.: s. n.]. Disponível em: https://smartport.nl/wp-content/uploads/2021/01/SmPo_TNO-Offshore-windpark-decommissioningeng_final.pdf.

ORNELLAS, L. F. T. *et al.* **Descomissionamento de parque eólico no conceito da economia circular.** BWP 2020.

Projet éolien des berges de Charente Tout savoir sur le démantèlement - Projet éolien des berges de Charente. [s. l.], 2022. Disponível em: <https://www.projeteolien-bergesdecharente.fr/actualites/tout-savoir-sur-le-demantelement/>. Acesso em: 19 jun. 2023.

RUIVO, F. M. **Descomissionamento de sistemas de produção offshore.** 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campinas. 2001. 124 f.

Siemens Gamesa RecyclableBlade. [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.siemensgamesa.com/en-int/explore/journal/recyclable-blade>. Acesso em: 18 jun. 2023.

TEREZA, J. Chagas. **Levantamento de opinião sobre o descomissionamento de parque eólico no Brasil.** 2019. Trabalho de conclusão de Curso - Universidade de Santa Catarina, Aranguá. 2019.

Vestas revela solução inédita para reciclagem de pás de turbinas eólicas – ALMACO. [s. l.], 2023. Disponível em: <https://almaco.org.br/2023/02/23/vestas-revela-solucao-inedita-para-reciclagem-de-pas-de-turbinas-eolicas/#:~:text=A%20tecnologia%20leva%20o%20mercado,composi%C3%A7%C3%A3o%20do%20material%20das%20p%C3%A1s..> Acesso em: 18 jun. 2023.

WIND. **Wind Turbine Blades to Be Recycled into Photovoltaic Plants.** [s. l.], 2021. Disponível em: https://www.imnovation-hub.com/energy/recycling-wind-turbine-blades-photovoltaics/?utm_source=youtube&utm_medium=social&utm_campaign=202302&utm_content=video&_adin=1260423548#techniques. Acesso em: 18 jun. 2023.

Wood Mackenzie. **65GW of European onshore wind turbines need upgrades or replacements by 2028.** Disponível em: <https://www.woodmac.com/press-releases/65GW-Europeanonshore-wind-turbines-need-upgrades-or-replacements-by-2028>. Acesso em: 26 mar. 2023.