



16-17 Agosto / 23
PLATAFORMA DIGITAL BWP

Categoria 6

Miscelâneas

Safety and risk assessment in Wind Energy: Analysis of Fire Accidents

Marcel E. Katekawa

1Aluno PECE – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo

Marcel.Katekawa@usp.br

ABSTRACT

In recent years, the world has seen growing interest in energy transition from fossil fuels to a more diverse and less carbon intensity energy mix, with this trend towards more renewables expected to continue in the next decades. The Process Industries, as well as the Oil and Gas industry, have gone through a transformation in the past decades, leading to increased focus on management of risks and how safe operations increase productivity. The wind power industry could profit from these lessons. This work analyzed safety incidents involving the wind power industry from available literature and references. Among the accidents that can lead to a significant downtime, total loss of the infrastructure, and severe human consequences, fires are the second most common type of accidents, closely behind blade failure. According to the database research in this work, about forty percent of fires are caused by electrical hazards, while about twenty percent are due to mechanical causes, while an additional twenty percent of fires were caused by lightning strikes. Human injuries were found in 2.7% of the accidents, with 1.1% leading to fatalities. Risk of fatality due to a fire in a wind turbine was estimated at 1 to 16 cases per million, per annum. An important gap in the wind power industry encountered in this work was the lack of publicity and for compulsory report of accidents in wind farms. Looking at the level of risk that was estimated due to fire accidents alone, the wind power industry should not be considered as “low risk” and better hazard control practices may be required.

Keywords:

Fire; Wind Farm Accidents; Wind Energy Safety

1. INTRODUCTION

In recent years, the world has seen growing interest in energy transition from fossil fuels to a more diverse and less carbon intensity energy mix. According to the IPCC 2022 Report, intermittent renewable energy supply, like wind and solar power, can play an important role in mitigating the effects of climate change, especially if mixed with other initiatives to foster climate resilient development (1).

World wind power supply reached 4,872 TWh in 2021, which corresponds to around 2.95% of the world primary energy consumption. As it can be seen from Figure 0.1, the participation of wind in the overall primary power has been increasing significantly since the 1990's, with Denmark arising as a world leader. In Brazil, the share of wind power surpassed 5% in 2021, despite the effects of the Covid-19 pandemic that affected the implementation of wind power projects in countries like the UK (2).

The increase in energy supply from renewables is expected to continue in the next decades. Currently, the installed capacity for solar and wind power worldwide is just over 800 GW for each of these two renewable

sources. According to the scenarios drawn by bp in their 2022 energy outlook, in order to achieve a net zero emission goal by 2050, solar and wind energy supply will need to increase by about 600-750 GW per year (3).

This rapid increase has been accompanied with societal expectations regarding efficiency and safety. In order to maximize energy output and reduce downtime, the wind power industry must work towards guaranteeing safety of its operations, which will in turn have a positive effect on productivity, energy throughput and ultimately bring economic benefits. Letcher (2017) provides a comprehensive list of the current challenges of growing use of wind power; Safety is listed as one of these challenges that wind power industry must tackle (4).

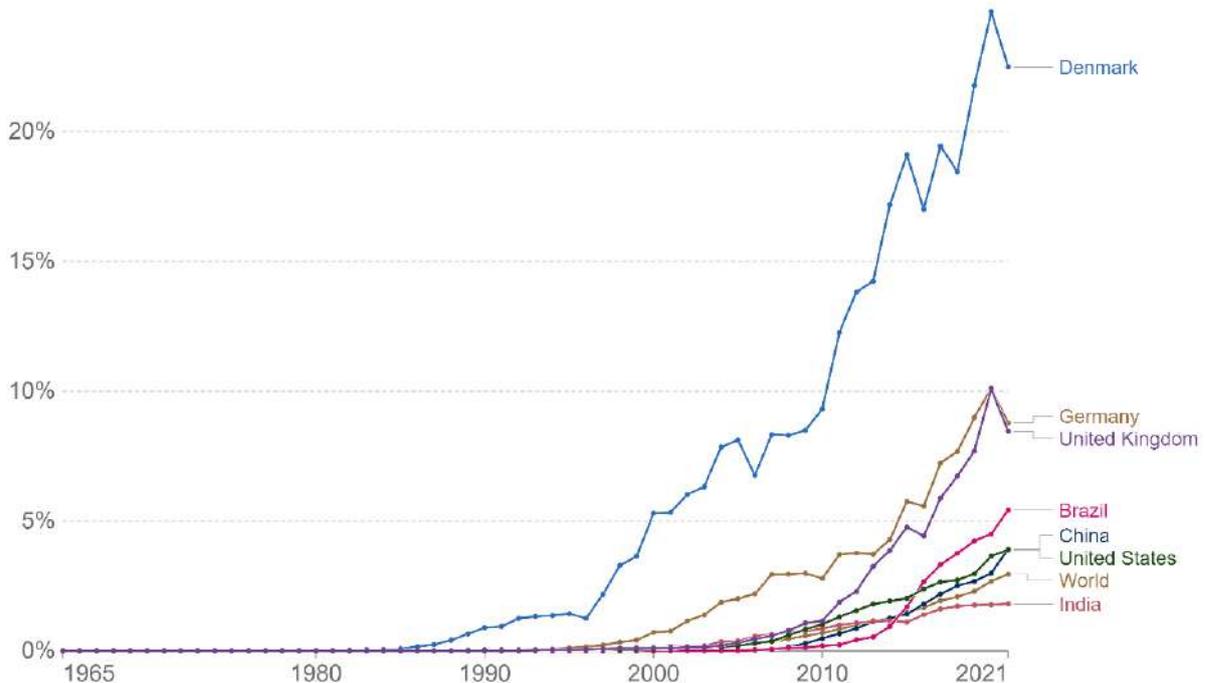


Figure 0.1 – Share of primary power from wind (5).

The Process Industries, like Oil and Gas, have gone through a transformation in the past decades, leading to increased focus on management of risks and how safe operations increase productivity. The wind power industry could profit from the lessons learned in this transformation.

This work investigated available references and databases reporting accidents involving wind power generation. A detailed analysis of the fire accidents was conducted to determine possible causes of fires. Reports on fatalities in wind farms during fire events were also analyzed.

2. REVIEW OF THE HAZARDS AND RISK IN THE WIND POWER INDUSTRY

To appropriately manage and control the risks involved in Wind Power, it is first necessary to identify and understand those risks. While some industries, like Oil and Gas, are consolidated and have a long history of collecting data, emerging energy technologies like wind power do not have the same resources. There are some reasons for that:

- Novelty. While the use of wind power is not new, the technologies being used to harness this power are frequently evolving and being scaled-up. Developers are constantly trying to make wind turbines bigger, more efficient, and adaptable to new environments, like offshore (6);

- Incident data in wind industry is fragmented (7). In most countries, there is no specific requirement for reporting safety incidents in wind energy, and therefore reporting is done based only on general requirements, such as if an incident has impacts on occupational health (8).
- Poor quality of data that is available. Most databases available are managed by advocacy groups against the use of wind power, with limited quality of data (9).

The Transportation Research Board of the National Academy of Sciences, a US organization, compiled a comprehensive report on the risks that workers are exposed on Offshore wind power and how those risks compare to the risks to which offshore oil and gas workers are exposed (10). That comparison is reproduced in Table 0.1.

Table 0.1 – Risks from Typical Hazards for an Offshore Wind Farm Worker Compared with Those for an Offshore Oil and Gas Worker (10).

| Hazard | Relative Risk | Comment |
|-----------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Electrical Injury | Higher | Higher-voltage equipment and all activities related to this equipment. |
| Personnel transfers | Higher | More boat transfers expected for a worker on offshore wind turbines. Oil and gas platform boat landings/helipads larger than those for wind monopoles. Helicopters used more often for oil and gas. |
| Awkward postures | Higher | Generally, more room to perform tasks is available on oil and gas platforms. |
| Confined space entry | Similar | Wind turbines have more confined spaces and must be entered more frequently; regardless, confined space entry for both oil and gas and offshore wind carries inherent risk and can have serious consequences. |
| Falls into water | Similar | Activities in locations where falls into water are likely are similar. |
| Diving | Similar | Similar activities and frequencies. |
| Manual material handling | Similar | Similar needs for upgrades or maintenance requiring manual handling or equipment and materials. |
| Long-term physical wear and tear | Similar | Relatively little climbing is required for offshore oil and gas workers but shifts and work schedule may be longer. |
| Mechanical hazards (e.g., pinch points) | Similar | Both installations required work on machines that pose dangers to workers. |
| Slips and trips | Similar | Common hazards in all workplaces. |
| Exposure to heat and cold | Similar | Both wind and oil and gas facilities have limited climate-controlled spaces. |
| Fall from heights | Similar | More climbing and higher climbing is required for activities in wind turbines; however, a higher exposure rate for personnel on oil and gas platforms may exist. |
| Fire | Lower | Oil and gas facilities process flammable materials. |
| Explosion | Lower | Oil and gas facilities process flammable materials. |
| Crane lifts | Lower | Oil and gas facilities generally have permanent cranes that are used more frequently than those that may exist in wind turbines. |

It has been suggested that there is a “benign perception” of the wind power industry, leading to a widespread belief that wind power is a low-risk industry (11). This is in part caused by the lack of data and the lack of publicity on safety incidents.

In Brazil, this scenario is also highlighted by Silva (2022). In this work, the author points out that data from the Brazilian Ministry of Labor and Employment (formerly Ministry of Social Security) shows accidents in the Energy Industry, without singling out different sectors like the Wind Power Industry (12). Nonetheless, the author cites at least three accidents leading to fatality in Brazil, sourced from newspaper articles.

The compilation presented in Table 0.1 show a classification based on the original authors' perception of risk but show that many hazards present in an oil and gas platform will also be present in an offshore wind installation. However, since wind power does not handle large amount of flammable material, when compared to oil and gas, the magnitude of major events like fires and explosions is smaller.

Furthermore, most oil and gas installations are permanently manned, whereas personnel will only be present in wind power installations during inspections and maintenance work, while the wind turbines are shut down. Workers are less exposed to risks in wind power than in oil and gas installations. That is possibly why wind power energy is perceived as low risk (11).

Boccard (2018) compiled fatality data per amount of energy generated across many energy sectors, including renewable energy such as wind power (13). This data is summarized in Table 0.2. According to this reference, the fatality rate of workers in wind power related accidents in the world was 0.29 fatalities per GWy, in the 1996-2016 period. While this figure is significantly lower than the fatality rate in Coal and in Oil and LPG industries, it is comparable to the fatality rate in the natural gas industry and higher than the nuclear power industry.

Table 0.2 – Number of fatalities and Fatality ratio, per technology in the Energy sector, 1996-2016. Adapted from (13).

| Energy Sector | Fatalities | Fatality ratio (Fatalities / GWy) |
|-----------------------|------------|--------------------------------------|
| Coal | 2375 | 2.5 |
| Oil + LPG | 1047 | 0.79 |
| Natural Gas | 166 | 0.21 |
| Hydro | 782 | 3.2 |
| Nuclear | 103 | 0.55 |
| Geothermal and Biogas | 3 | 0.07 |
| Power Network | 227 | 0.17 |
| Wind | 7 | 0.29 |
| Total Energy Sector | 4711 | 1.1 |

According to this metric, wind power should not be considered low risk, especially when compared to the natural gas industry. In line with this conclusion, Wifa & Hunter (2022) argue that the wind energy should be subjected to similar goal-setting risk management regulation, in the form of the Safety Case regime, as the oil and gas industry (11).

Accidents in Wind Power

There is no readily available official database of accidents and investigation reports on Wind Power, as identified by several authors (9). The most famous source of accident statistics database is maintained by Scots Against Spin, who describe themselves as “an independent alliance campaigning for the reform of the Scottish Government’s wind energy policy” (14). This database is often referred in literature by Caithness Windfarm Information Forum (CWIF), which was the organization that first started compiling wind power accident references.

This database collects data from sources from the internet and includes accidents ranging from total loss of the turbines to malpractices in implementation of windfarm projects such as bribery and legislation issues.

Some of the accidents listed in the database are from references that are not public, or that are no longer available on the internet. Despite these setbacks, it is used in several scientific research projects because of its good accessibility in the Scots Against Spin (SAS) website (14). Even Wind Power industrial associations have admitted the difficulty in sourcing accident data (15). There is reportedly data held by insurance companies, that are not available to the public (16).

3. METHODOLOGY

As a first step, a study was conducted using the accidents that were registered in the SAS database (14). An analysis of all the fire loss events was performed by verifying the original reports or internet sources to verify what causes and contributing factors led to the fire. These causes were cross-referenced with recognized publications on fire protection of wind turbines, such as (15), (16), (17), (18).

Causes of fire loss of wind turbines were ranked according to the number of references that were available in the database. Causes of fire were also classified according to during what stage of the wind turbine project, namely operation and maintenance, and whether a consequence to people resulted from the fire. These results were also compared to relevant publication found in literature discussing causes of wind turbine fires (9), (15).

4. ANALYSIS AND DISCUSSION ON THE FIRE ACCIDENTS IN WIND TURBINES

An analysis of the SAS database show that there are several types of events registered, not all related to process safety events. The database reports health complaints, allegations of bribery and animal fatalities, in addition to major accidents. Table 0.3 presents a subset of the data from the SAS compilation, considering only accidents that were catastrophic or had severe consequences to wind farms. The most common accidents related to total or partial loss of a wind turbines are blade failure, fire, and structural failure. Accidents during transportation of pieces of wind turbines prior to installation are also frequent.

Table 0.3 – Accident registered in Wind Farms in the 1980-2022 period, Adapted from (14).

| Type of Accident | Number of registries | Percent of Registries |
|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| Blade failure | 503 | 33% |
| Fire | 434 | 28% |
| Damage during transport | 276 | 18% |
| Structural Failure | 248 | 16% |
| Ice Throw | 46 | 3% |
| Others | 38 | 2% |
| Total | 1545 | 100% |

Blade failure is the result of the detachment of an entire blade or of a piece of the blade. When this happens during operation of the wind turbine, or while it is in movement, the broken object may be propelled across a great distance and may impact members of the public, roadways, vehicles, neighboring facilities, among others. The wind turbine becomes inoperable, and the blade must be replaced, or, in a worst-case scenario, the turbine needs to be permanently shut down.

Fire can occur in a wind turbine due several causes, as it will be discussed in later sections. Fires in the wind turbine nacelle are of special interest, as the height of the turbine makes external firefighting virtually

impossible in a timely manner. Fire can propagate from the turbine due to burning pieces being thrown or carried by the wind, leading to fires elsewhere.

Structural failure relates to the total or partial collapse of the tower, which may happen due to severe wind conditions, lightning, or collision. Faulty design, improper procedures during construction or operation, and maintenance issues have also been named as contributing factors for wind turbine tower collapse (19). Accident can escalate if the falling tower impacts neighboring structure. Structural failures lead to the complete loss of the turbine.

Other relevant accidents related to wind energy are accidents during transport of parts of a wind turbine, ice throw, and environmental damage. Due to the size of some of the components of the wind turbine, especially the blade, risks associated with the transport are significant. Ice throw relates to the detachment of ice blocks that form on the blades, with potential impact on neighboring installations or members of the public. Environmental damage can occur mainly due to impact between wildlife and the turbine blade.

Data from Table 0.3 suggests that the number of blade failure events is about the same as the number of fire events. In addition, the number of blade failure events is about twice the number of blade failure events.

Figure 0.2 presents an evolution of major accidents in wind farms, considering only major events that took place at wind turbine farms. As it can be observed from Figure 0.2, the number of accidents registered increased in the beginning of the 2010 decade but has been stable in the last few years. In addition, data from Table 0.3 and from Figure 0.2 suggest that recently the number of blade failure events and the number of fire events have similar magnitudes. While some authors have considered that blade failure events are the most common accidental events, the data from (14) point to blade failure and fires as having similar likelihood.

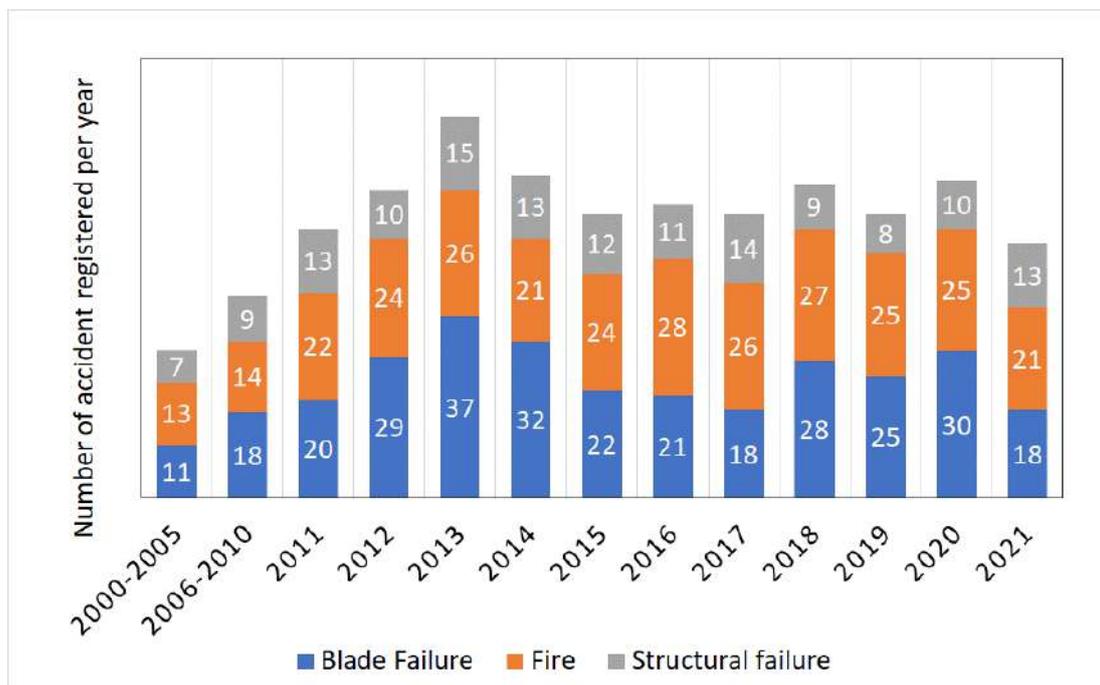


Figure 0.2 – Number of accidents in wind turbines categorized by type of failure. Adapted from (14)

Hetye & Nagy (20) use a metric by dividing the number of accidents by the installed capacity, on a yearly basis. This metric is not precise because it does not relate the accident to the date of installation of the wind farm where the accident took place. However, it does allow for some sensibility on the evolution of the frequency of accidents in wind farms. Figure 0.3 presents an updated version of this metric, considering that 2021 is the last full year of available data.

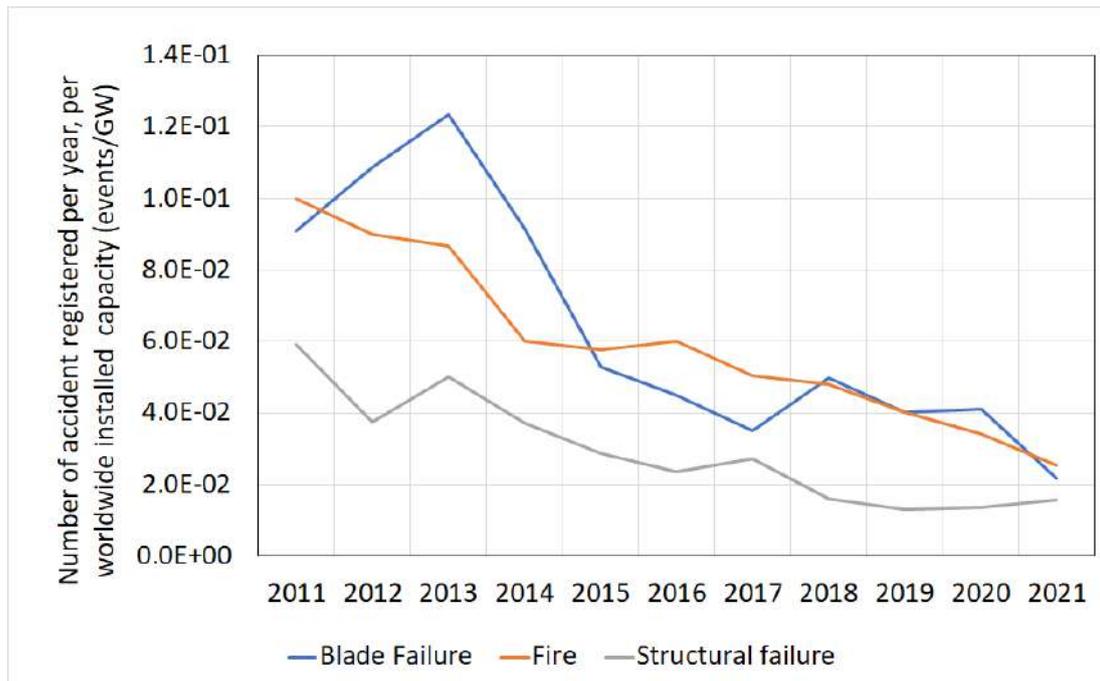


Figure 0.3 – Number of accidents in wind turbines, divided by worldwide installed capacity in GW, and categorized by type of failure. Adapted from (3) and from (14).

Figure 0.3 confirms that the frequencies of the three types of catastrophic events in wind farms have shown a decrease in the first half of the 2010 decade. This decreasing trend, however, seems to be waning off and are beginning to show a plateau.

In addition, Figure 0.3 makes it clear that in recent years, the frequency of fire events is about the same as the frequency of blade failure events. This could mean that the measures taken by designer and operators to tackle blade failures were effective in reducing the number of this type of accident, to the extent that nowadays fire events are taking over as the leading cause of a wind turbine loss.

For blade failure and structural collapse, there is a Dutch guideline on frequency of occurrence of these scenarios aimed to support hazard and risk analyses of wind farms, as reported by (21). These values are presented in Table 0.4 and indicate that frequency of a blade failure is about twice the frequency of a tower collapse. This observation is in line with the number of registries of these types of accidents presented in Table 0.3.

Table 0.4 – Frequency of occurrence of blade failure and tower collapse. (21)

| Scenario | Expected value | Recommended value (1/yr) |
|--------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Loss of entire blade | 6.3×10^{-4} | 8.4×10^{-4} |
| Loss at rated speed | | 4.2×10^{-4} |
| Loss at 1.25*rated speed | | 4.2×10^{-4} |
| Loss at 2* rated speed | | 5.0×10^{-4} |
| Loss of blade tip | 1.2×10^{-4} | 2.6×10^{-4} |
| Collapse of entire turbine at tower foot | 2.0×10^{-4} | 3.2×10^{-4} |
| Collapse of rotor and/or nacelle | 5.8×10^{-5} | 1.3×10^{-4} |
| Falling down of small parts from nacelle and hub | 1.2×10^{-2} | 1.7×10^{-3} |

For fires in wind turbines, there is no equivalent guideline available. Dederichs et al. (16) compiled occurrences of fire in onshore and offshore wind turbines, using anonymous sources, data from selected countries, and insurance companies.

Meanwhile, a report by the SafetyOn Organization and the Energy Institute has investigated wind turbine fires on onshore installations from 2014 to 2018, using RIDDOR reports and self-reporting from its member companies (15). Data from Dederichs et al. (16), from SafetyOn (15), as well as some anecdotal references found elsewhere in literature are presented in Table 0.5.

Table 0.5 – References on the Frequency of occurrence of fire in wind farms

| Frequency of Fires in wind turbines (1/yr) | Original source | Reference |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.0×10^{-5} | Anecdotal reference | (17) |
| 2.0×10^{-4} | Reference form insurance company | (16) |
| 2.0×10^{-4} | Compiled from Austrian, and German sources | (16) |
| 5.0×10^{-4} | Swedish source | (16) |
| 1.5×10^{-4} | Insurance company | (16) |
| 5.0×10^{-4} | DNV GL | (16) |
| 5.0×10^{-4} | Anecdotal reference | (22) |
| 1.0×10^{-4} to 1.0×10^{-3} | RIDDOR reported incidents, compiled by British Wind Energy Association, from 2014 to 2018 | (15) |

Upon comparison of data from Table 0.4 and Table 0.5, the most common frequency values for fire events seem to align with values for tower collapse, while being about half of the frequency value of blade failures. This impression is stated expressly by Dederichs et al. (16) in their report.

However, as discussed previously, the number of event registries in the SAS database (Figure 0.2) suggest that fires may be as frequent as blade failures. The data collected from a smaller sample of wind farms by (15) also suggests this conclusion. If that is the case, a more accurate estimation of the frequency of fire in wind turbines is in the 5×10^{-4} to 1×10^{-3} range.

Fire Accidents

The most common causes of fire events in wind turbines ranked per the number of incidents reported in the SAS database are presented in Table 0.6. It should be noted that there was a total of 302 incidents that had no obvious cause reported in the database or that could be found doing internet research. These cases with no cause disclosed represent about two-thirds of the total number of fire registries.

Seventeen registries are somewhat vague in the description and attribute the cause of a fire to a “Technical defect”. This can mean any fault in a system that can lead to fire, including electrical faults, or mechanical faults leading to overheat. These events not listed in Table 0.6 because the actual cause of the fire could not be ascertained. However, these fires started due to technical defects would most likely not be caused by lightning strikes or events outside of the nacelle. There is a likelihood that the number of events due to electrical faults or overheat could be even more frequent than what is shown in Table 0.6.

Some of the fire events listed in the SAS database were excluded because they were related to activities not exclusively to a wind turbine. For instance, several cases of brush fire were reported during blasting to clear terrain for installation of a turbine. Another event that was excluded took place when a crane collided with a power transmission line.

From Table 0.6, it is clear that the main cause of fire in wind turbines are faults in the electrical systems contained in the nacelles. They represent over a third of the fire events with reported causes from the SAS database. This observation is in line with the statements from (23) that name the capacitor and converter

cabinets in the nacelle as the one of the three major fire risk systems in a wind turbine. Fires started by lightning strikes or by overheating due to a mechanical failure are tied for the second leading causes of fire in wind turbines.

Table 0.6 – Fire incidents in Wind Farms. Adapted from (14).

| Cause of fire in wind farm | Number of incidents | Percentage of incidents |
|-------------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Electrical fault in the nacelle | | |
| During operation | 34 | 29.6% |
| During Maintenance | 13 | 11.3% |
| Total Electrical Fault in the nacelle | 47 | 40.9% |
| Lightning | 24 | 20.9% |
| Overheat | 24 | 20.9% |
| External fire | 8 | 7.0% |
| Electrical fault off-nacelle | | |
| Transformer fault | 4 | 3.5% |
| Battery fault | 5 | 4.3% |
| Substation fault | 2 | 1.7% |
| Total Electrical Fault off-nacelle | 11 | 9.6% |
| Fire after the collapse due to high winds | 1 | 0.9% |
| Total number of incidents | 105 | 100% |

Maintenance vs. Operation

Maintenance works often require the use of fire hazards, such as welding, abrasive cutting, soldering, flame cutting, or the use of electrical equipment not designed for use in the power turbine. One reported fire started due to an electrical fault in a coffee maker brought by maintenance workers to the nacelle of the wind turbine (16).

In addition, there are several recorded instances of fires that occurred upon the electrical systems in the turbine being restarted. From the SAS database, it was possible to classify the fire events due to electrical faults that occurred when the turbine was in operation, and those events that started when the turbine was being serviced by a maintenance crew. The results of this classification are also presented in Table 0.6.

About 72% of the fires due to electrical faults started during regular operation of the turbine, while 28% started while some sort of maintenance work was being done to the turbine. The expected amount of time a turbine undergoes maintenance has been reported to be in the 1% to 2% range (23), leading to the conclusion that there is a disproportionate number of events that took place during maintenance activities.

Fatalities and Human Injury in wind turbine fires

Among the 434 accidents registered and reviewed from the SAS database, there are seven fatalities, resulting from four different fire events in wind turbines (14):

- In 2003, a worker was performing a switching operation at the base of a wind turbine tower in California, when an explosion followed by fire took place. The worker did not resist the injuries.
- In 2005, a worker fell during escape from a fire in Southern Minnesota, while the other two workers present were able to safely evacuate. Workers were replacing a bolt on the Wind turbine generator.

- In 2012, two workers were performing maintenance in the nacelle of a wind turbine in Inner Mongolia, China, when a fire started. The workers were not able to escape and perished.
- In 2013, four workers were performing routine maintenance in a wind turbine in The Netherlands when fire broke out. Two workers were able to safely escape, one worker was trapped inside the nacelle and perished while the other worker was found dead at the base of the turbine, having fallen during the escape.
- In 2017, a fire broke out in the substation platform of the offshore SPIC North Binhai Wind Farm, in Jiangsu, China. Eighteen workers were able to escape by jumping into the sea, while one worker has not been found. Fire broke out during construction of the wind farm.

Likewise, there are seven registries for human injuries due to a fire event in wind turbines from the SAS database (14). In one instance, two firefighters were injured during firefighting activities on the ground. The remaining six registries are related to maintenance/construction activities. Considering the total number of fire accidents registered, 1.1% of them led to fatalities and 1.6% of them led to human injury, totalling 2.7% of the registries indicating consequence to people.

It is worthy to note that all but one of these fire events leading to fatalities and human injuries took place during maintenance/construction activities. There is no expectation of human presence during regular operation of a wind turbine, so that this should be always the case. This finding is in line with the conclusion by Asian et al. (9).

Considering the frequency of occurrence of fire in wind turbines from Table 0.5 and the data the percentage of fires that result in fatalities, the annual risk to a wind farm worker can be estimated between 8×10^{-7} and 1.6×10^{-5} event per annum, or an annual risk of fatality between 1 and 16 per million. This annual risk is of the same order of magnitude as a general risk to employees in the UK, reported to be 8 fatalities per million per annum (24). It should be noted that these figures cover the risk due to fire only, but they do not cover the overall risk to people in a wind farm. That figure can only be estimated considering the other undesirable events that can have severe human consequences.

It should be noted that the HSE UK stated limit between “broadly acceptable and tolerable regions for risk entailing fatalities” is one in a million per annum for workers and the general public (24). The actual risk to wind farm workers depends on each operator’s approach to risk management and may vary greatly from the average values estimated in this work. This figure is, however, a warning to wind farm operators that the medium risk of fatalities in the past decades is not broadly acceptable – meaning that operators should take a proactive approach to managing risk in each facility.

5. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

The main objective of this work was to investigate the approaches used in the Wind Power Industry to hazard identification and to risk assessment. Several references that advocate using similar risk management techniques were found in literature, even though there seems to exist a misconception that the wind power industry is low risk.

The main reason for this perception is the lack of publicity of safety incidents in wind farms. Except for a few selected countries, there is no national or international requirements for accident reporting and analysis. The accidents that do gain exposure are the ones that lead to severe consequences or that are easily identified by the community living on the areas surrounding wind farms. The accident registries that are readily available are maintained by advocacy groups, but they are often incomplete and do not adhere to the same standards of quality that the accident reporting required by legislation in other industrial sectors.

The frequency of accidents in wind farms from the available database were found to be decreasing or stabilizing, which is often attributed to improvements in technology, and lessons learned as the wind power industry grow. The overall number of accidents in 2021, however, is still at the same level as they were in 2015.

Among the accidents in wind farms that can lead to a significant downtime, total loss of the infrastructure, and severe human consequences, fires are the second most common type of accidents, closely behind blade failure. According to the database research in this work, about forty percent of fires are caused by

electrical hazards, while about twenty percent are due to mechanical causes. An additional twenty percent of fires were caused by lightning strikes. About 72% of the fires due to electrical faults started during regular operation of the turbine, while 28% started while some sort of maintenance work was being done to the turbine, which means there is a disproportionate number of events that took place during maintenance activities while workers are present in the power generation and transmission installations.

In addition, human causes were found in 2.7% of the accidents, with 1.1% leading to fatalities. Risk of fatality due to a fire in a wind turbine was estimated at 1 to 16 cases per million, per annum. Considering fire accidents alone, this figure is enough to contradict the argument that wind power is low risk.

6. REFERENCES

1. **Pörtner, H.-O., et al.** 2022: Technical Summary. [ed.] H.-O. Pörtner, et al. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, U.K. : Cambridge University Press, 2022, p. 84p.
2. **Bosnjakovic, M., et al.** Wind Turbine Technology Trends. *Applied Sciences*. 2022, Vol. 12, p. 8653.
3. **bp.** *bp Energy Outlook*. s.l. : bp Energy Economics, 2022. p. 57p.
4. **Letcher, T.M.** Why Wind Energy? *Wind Energy Engineering: A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines*. London : Elsevier, 2017.
5. **Our World in Data.** [Online] 2022. [Cited: Sep 30, 2022.] https://ourworldindata.org/grapher/wind-share-energy?tab=chart&country=OWID_WRL~GBR~BRA~CHN~USA~DNK~DEU~IND.
6. **HSE UK.** *Health and safety in the new energy economy: Meeting the challenge of major change*. s.l. : HSE UK, 2010. p. 20p.
7. **Energy Institute.** *SafetyOn Research report: An investigation into the root causes of fires in MW scale wind turbines*. London : Energy Institute, 2020. p. 16p.
8. *Prevenção de incêndios em turbinas eólicas: causas e impactos, percepção dos especialistas, lacunas regulatórias e sistemas preventivos.* **Albuquerque, A. and Saretta, A.** São Paulo : Brazil Wind Power, 2019. pp. 212-228.
9. **Asian, S., et al.** Wind Turbine Accidents: A Data Mining Study. *IEE Systems Journal*. 2017, Vol. 11(3), pp. 1567-1578.
10. **Transportation Research Board.** *Worker Health and Safety on Offshore Wind Farms*. Washington D.C. : Transportation Research Board, 2013. p. 185p.
11. **Wifa, E. and Hunter, T.** Mitigating occupational health and safety risks in the proposed Australian offshore wind energy industry: lessons from the safety case regime. *Journal of Energy & Natural Resources Law*. 2022, Vol. 40(1), pp. 83-104.
12. **Silva, Luiz Geraldo Gomes da.** Acidentes de trabalho fatais em duas etapas da energia eólica no Brasil. *Segurança do Trabalho: experiências exitosas*. 2022, Vol. 2.
13. *Safety along the energy chain.* **Boccard, N.** 2018, *Energy*, Vol. 150, pp. 1018-1030.
14. **SAS.** Scots Against Spinn. [Online] 2022. [Cited: August 31, 2022.] <https://scotlandagainstspin.org/turbine-accident-statistics/>.
15. **SafetyOn.** *SafetyOn Research Report: An Investigation into the Root Causes of Fires in MW Scale Wind Turbines*. London : Energy Institute, 2020. p. 16p.

16. **Dederichs, A.S., et al.** *Fire Safety in Offshore Wind Turbines*. Boras : SP Technical Research Institute of Sweden, 2016.
17. **Uadiale, S., et al.** Overview of Problems and Solutions in Fire Protection Engineering of Wind Turbines. *Fire Safety Science*. 2014, pp. 983-995.
18. **CFPA-E.** *Wind Turbines Fire Protection Guidelines*. Copenhagen : Confederation of Fire Protection Associations in Europe, 2012.
19. **Ma, Y., Martinez-Vazquez, P. and Baniotopoulos, C.** Wind turbine tower collapse cases: a historical review. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*. 2018, p. 1700167.
20. **Hetyei, C. and Nagy, O.** Review of Wind Turbine Failures, Highlighting Fire Accidents. *Műszaki Katonai Közlöny*. 2020, Vol. 30, pp. 43-55.
21. **Braam, H. and Rademakers, L.W.M.M.** *Guidelines on the environmental risk of wind turbines in The Netherlands*. 2004.
22. **FireTrace International.** Wind Turbine Fire Suppression systems. [Online] 2022. [Cited: Oct 11, 2022.] <http://www.firetrace.com/wind-turbine-fire-suppression-systems>.
23. **FireTrace International.** In the Line of Fire. [Online] 2020. [Cited: September 01, 2022.] <http://www.firetrace.com/report-in-the-line-of-fire>.
24. **HSE UK.** *Reducing risks, protecting people*. Norwich : UK Health and Safety Executive, 2001.

MULHERES NA EÓLICA:

Relato de Experiência de um Projeto de Extensão Tecnológica entre o Instituto Federal de Pernambuco e Empresas do Setor Eólico Brasileiro

Juliana de Almeida Yanaguizawa Lucena

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) – *Campus Ipojuca*
Rod. PE 60 Km 14, Califórnia, Ipojuca-PE, CEP; 55500-000

julianaalmeida@ipojuca.ifpe.edu.br

RESUMO

O setor eólico emprega intensiva mão de obra, principalmente na etapa de produção dos componentes das turbinas eólicas e na edificação dos aerogeradores. Novos parques eólicos estão previstos para serem instalados nos próximos anos, que irão demandar mais trabalhadores treinados na construção, instalação, operação e manutenção. Sabe-se que a cada 1MW de potência eólica instalada, são gerados 15 postos de trabalho. No entanto, apenas 21% da força de trabalho global na eólica é ocupada por mulheres. A transição energética requer que a energia eólica seja uma fonte sustentável, inclusiva e universalmente acessível. Nesse sentido, a fim de fazer avançar o papel das mulheres como agentes de mudança na sociedade e promover as melhores práticas em energias renováveis, foi conduzido no Instituto Federal de Pernambuco o projeto de extensão tecnológica “Mulheres na Eólica”, visando acelerar a capacitação de estudantes em conjunto com o setor eólico local para melhoria da formação acadêmica técnica, aumento da empregabilidade, da diversidade de gênero e estímulo às carreiras STEM. O presente trabalho apresenta o relato de experiência vivenciado no projeto, que contou com a participação de importantes empresas do setor eólico brasileiro: SIW Kits Eólicos, LM Wind Power do Brasil, Vestas do Brasil e Grupo Brennand Energia.

Palavras-chaves:

Energia eólica; Diversidade de gênero; Carreiras STEM; Empregabilidade; Inclusão social.

ABSTRACT

The wind sector employs intensive labor, mainly in the production stage of wind turbine components and in the construction of wind turbines. New wind farms are expected to be installed in the coming years, which will demand more workers trained in construction, installation, operation and maintenance. It is known that for every 1MW of installed wind power, 15 jobs are generated. However, only 21% of the global workforce in wind is occupied by women. The energy transition requires wind energy to be a sustainable, inclusive and universally accessible source. In this sense, in order to advance the role of women as agents of change in society and promote best practices in renewable energy, the technological extension project “Women in Wind” was carried out at the Federal Institute of Pernambuco, aiming to accelerate the training of students in conjunction with the local wind sector to improve technical academic training, increase employability, gender diversity and encourage STEM careers. This paper presents an experience report on the project,

which involved the participation of important companies in the Brazilian wind sector: SIW Kits Eólicos, LM Wind Power do Brasil, Vestas do Brasil and Grupo Brennand Energia.

Keywords:

Wind energy; Gender diversity; STEM careers; Employment; Social inclusion.

1. INTRODUÇÃO

É sabido que o setor eólico deverá se expandir a uma taxa sem precedentes nos próximos anos em todo o mundo e que o cenário atual da fonte eólica determina uma transição energética com foco na sustentabilidade (ABEEÓLICA, 2023; GWEC, 2022; IEA, 2021; IRENA, 2021).

No Acordo de Paris em 2015, os países se comprometeram a reduzir as emissões de gases de efeito estufa, seguindo o que cada governo considera viável a partir do cenário social e econômico local. Nesta perspectiva, o crescimento da indústria eólica exige, além de uma liderança forte e qualificada, que a sociedade mobilize esforços em busca de equidade, diversidade e mão-de-obra inclusiva no futuro.

A energia eólica é atualmente a segunda fonte de geração de eletricidade do Brasil, com mais de 13% de participação na matriz elétrica do país. São mais de 26 GW de capacidade eólica instalada (superior à capacidade da Usina Hidroelétrica de Itaipu) e a expectativa é que até o ano de 2029 ultrapasse 50 GW (ABEEÓLICA, 2023). A energia eólica abastece cerca de 109 milhões de brasileiros e, em alguns períodos do ano, consegue suprir toda a demanda de eletricidade da região Nordeste, com sobra, durante um dia inteiro (AGÊNCIA BRASIL, 2022). De fato, são mais de 10.178 turbinas eólicas instaladas em 12 estados do país, colocando o Brasil, desde 2021, em 6º lugar no ranking mundial da geração eólica (ABEEÓLICA, 2023).

De 2011 a 2020, a construção dos parques eólicos criou quase 196 mil empregos no Brasil (ABEEÓLICA, 2023) e novos parques eólicos estão previstos para serem instalados nos próximos anos, que irão demandar 480.000 trabalhadores treinados na construção, instalação, operação e manutenção (CASTILHO, 2022; IRENA, 2021). A cada 1MW de potência eólica instalada, são gerados 15 postos de trabalho (Figura 1). No entanto, apenas 21% da força de trabalho global na eólica é ocupada por mulheres (IRENA, 2020).

A presença feminina ainda é mais reduzida em ambientes considerados mais técnicos, como é o caso das áreas de STEM (Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática) (GWNET, 2019). Esses dados evidenciam que a capacitação tecnológica da mão de obra precisa ser expandida significativamente para garantir um trabalho seguro e de qualidade no setor eólico.

Além disso, as tendências na empregabilidade do setor de energias renováveis requerem uma melhor coordenação entre o setor produtivo e as instituições de ensino formadoras de recursos humanos. Incentivar estudantes que gostam de matemática e ciências a seguir sua paixão serão um dos caminhos futuros para empregar um número maior de jovens no setor de energia renovável e em carreiras STEM.

A fim de fazer avançar o papel das mulheres como agentes de mudança na sociedade e promover as melhores práticas em energias renováveis, foi conduzido no Instituto Federal de Pernambuco o projeto de extensão tecnológica “Mulheres na Eólica”, visando acelerar a capacitação de estudantes em conjunto

com o setor eólico local para melhoria da formação acadêmica técnica, aumento da empregabilidade, da diversidade de gênero e estímulo às carreiras STEM.

Figura 1. Diversidade de gênero no setor eólico.



Fonte: Adaptado de ABEEólica (2023) e IRENA (2020).

Assim, o presente trabalho apresenta um relato de experiência vivenciado no projeto “Mulheres na Eólica”, que contou com a participação de importantes empresas do setor eólico brasileiro: SIW *Kits* Eólicos Ltda., LM *Wind Power* do Brasil, Vestas do Brasil Energia Eólica Ltda. e o Grupo Brennand Energia, além de palestrante internacional e especialista em energia eólica da Universidade de OST na Suíça.

2. A DIVERSIDADE DE GÊNERO NO SETOR EÓLICO

Sob o tripé da sustentabilidade (Figura 2), a energia eólica é considerada uma fonte de energia sustentável porque é limpa e renovável, economicamente viável e socialmente justa, conforme discutido em trabalho anterior (LUCENA; LUCENA, 2019).

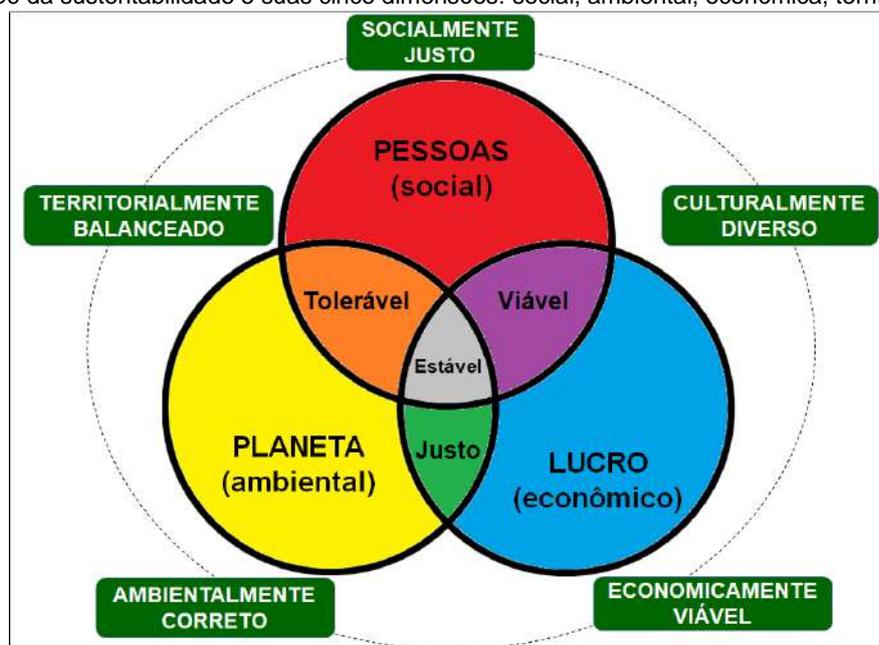
Certamente, o pilar social da sustentabilidade requer a energia eólica como inclusiva e universalmente acessível, independentemente de raça, classe, religião, gênero ou posicionamento político, de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial no ODS5 (igualdade de gênero e empoderamento), ODS7 (acesso à energia moderna, limpa e sustentável) e ODS8 (crescimento inclusivo e trabalho decente) das Nações Unidas (2022).

A diversidade, igualdade e inclusão no setor de energia foi relatada por alguns autores como uma desigualdade de gênero significativa e longe de ser equilibrada, apesar das mulheres serem geralmente percebidas como tendo habilidades e conhecimentos valiosos (BARUAH, 2016; CZAKO, 2020; FALCÃO et al., 2019; FRAUNE, 2015; GWNEN, 2019; IRENA, 2020, 2021; PEARL-MARTINEZ; STEPHENS, 2016). No Brasil especificamente, faltam publicações sobre diversidade de gênero na área de energia eólica.

Os trabalhos de Baruah (2016) e GWNEN (2019) mostram que países desenvolvidos e emergentes enfrentam desafios de diferentes tipos em energia renovável, desde a forma como lidam com a transição energética até a importância que dão à igualdade de gênero. Segundo os autores, oportunidades para

mulheres e diversidade de gênero em países emergentes podem ser menos comuns, onde falta uma política nacional de justiça socioeconômica, inclusão e igualdade baseada em uma forte agenda nacional de direitos humanos e integrada à transição justa. O estudo de IRENA (2021) observou cuidadosamente que as percepções de papéis de gênero e normas culturais/sociais formam uma grande barreira à igualdade de gênero.

Figura 2. Tripé da sustentabilidade e suas cinco dimensões: social, ambiental, econômica, territorial e cultural.



Fonte: Adaptado de Lucena e Lucena (2019).

O notável estudo de Falcão et al. (2019) descreveu que, embora a discriminação de gênero no campo das energias renováveis seja menos evidente do que no setor de energia como um todo, a indústria é considerada menos aberta a novas ideias, em particular a mudança para um mercado de energia de baixo carbono. Czako (2020) explicou que a energia eólica é o quarto maior empregador global entre as indústrias de energia renovável (atrás de solar fotovoltaica, biocombustíveis líquidos e energia hidrelétrica) e a maioria dos empregos eólicos está no subsetor *onshore*.

Conforme já apresentado na Figura 1, são 15 empregos criados para cada 1MW de energia eólica instalada, mas as mulheres representam em média apenas 21% da força de trabalho eólica mundial. No Caribe e na América Latina, o gênero feminino representa cerca de 19% da força de trabalho do setor eólico. A participação das mulheres nas energias renováveis ao redor do mundo (32%) é maior do que nas fósseis indústria de combustíveis (22%), devido a sua dimensão multidisciplinar (IRENA, 2020).

No Brasil, esse número parece ser menor, como observado em uma fábrica de torres eólicas de aço em Pernambuco (região Nordeste do país), que tem 14% de mulheres em cargos fabris e administrativos. Em outra empresa do mesmo polo eólico (fornecedor de espuma PET para pás eólicas), as mulheres representam 13% de todos os funcionários.

Os estudos de IRENA (2021), Morcelle et al. (2019) e Oliveira et al. (2019) observaram a sub-representação de meninas e mulheres nas carreiras STEM, tendo a Europa e a América do Norte a maior proporção (26%) de mulheres em empregos de energia eólica. Uma pesquisa do Centro Brasileiro de

Tecnologias de Gás e Energias Renováveis (FIERN, 2021) mostrou que as mulheres representam pouco mais de 10% das matrículas em cursos de energia eólica.

A pesquisa significativa realizada pela GWNET (2019) constatou que a maioria dos cargos existentes no setor de energia sustentável são ocupados por homens com qualificações relacionadas a engenharia e STEM. Em relação às taxas, as desigualdades salariais percebidas são menores na energia eólica (40%) do que na economia geral (68%), conforme examinado pela IRENA (2021). Entre as barreiras percebidas para manter as mulheres no setor, destacam-se a falta de justiça e transparência nas políticas internas, seguidas pela falta de trabalho remoto, horários flexíveis de trabalho, metas de gênero e fatores relacionados à maternidade (IRENA, 2020). As barreiras percebidas podem variar de acordo com o tamanho da organização e localização. No entanto, é evidente a necessidade de uma mudança cultural que, mesmo lenta e gradual, deve acontecer dentro das organizações para garantir a igualdade de gênero em seus processos e políticas internas.

De acordo com o Conselho da Indústria Eólica *Offshore* (OFFSHORE WIND INDUSTRY COUNCIL, 2020), o tempo e o esforço gastos tentando melhorar a diversidade de gênero e a inclusão nas organizações serão desperdiçados se as organizações não forem capazes de identificar questões de representação e inclusão que podem estar levando à incapacidade de atrair, reter e desenvolver diversos talentos.

A IRENA (2021) publicou que o setor de energia sustentável aponta para um crescimento na força de trabalho dos atuais 11 milhões para 42 milhões de funcionários em 2050. Portanto, para que a transição energética seja ampliada e acelerada conforme necessário para atender às metas climáticas acordadas e superar a pobreza extrema, a energia eólica precisa aproveitar o talento em todas as suas formas e promover a inovação em uma ampla gama de habilidades, aplicações e especializações. Além disso, como claramente sugerido neste relatório, oportunidades adequadas para incluir mulheres, jovens, minorias e grupos marginalizados são essenciais para o desenvolvimento de uma força de trabalho de energia eólica que represente a sociedade como um todo.

Conforme discutido por GWNET (2019), para que as mulheres tenham uma chance justa de ocupar cargos de liderança no futuro, elas devem ter maior acesso e incentivo para fazer cursos relacionados a engenharia e STEM, uma vez que o emprego, o avanço e a retenção de mulheres no setor eólico indústria ainda não ocorre como deveria. Além disso, ambientes de trabalho que permitam a inclusão de todas as pessoas, no caso das mulheres, com o fornecimento de equipamentos de proteção individual adequados e local para amamentação, para funcionárias mães, a campanhas que eliminem estereótipos.

Chama a atenção as iniciativas de algumas empresas para estabelecer metas de diversidade e incentivar uma maior presença feminina, seja em áreas técnicas ou em cargos superiores na hierarquia corporativa. Nos últimos cinco anos, as metas de diversidade parecem ser uma tendência entre as empresas de energia no Brasil, ainda que em passos menores do que, por exemplo, no setor bancário. Por exemplo, a proposta de capacitação de mão de obra feminina da empresa AES Brasil, que decidiu contratar apenas mulheres operadoras em seu novo parque eólico de Tucano, na Bahia (BROADCAST ENERGIA, 2020).

3. O PROJETO MULHERES NA EÓLICA

O projeto de extensão tecnológica “Mulheres na Eólica” foi executado pelo *Campus* Ipojuca do Instituto Federal de Pernambuco e empresas parceiras do setor eólico brasileiro, tendo financiamento da Secretaria de CT&I (SECTI) do Estado de Pernambuco e da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) para o custeio das bolsas das estudantes e da professora coordenadora do projeto.

3.1 O Instituto Federal de Pernambuco

Desde 2008, ano de criação da Rede Federal de Educação Tecnológica, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) executa sua missão de oferecer educação profissional pública e de qualidade, inserindo jovens e adultos no mercado de trabalho.

O *Campus* Ipojuca do IFPE, criado em 2007, trouxe ao litoral sul pernambucano a missão de ampliar o acesso à educação profissional e tecnológica. Os cursos do *Campus* Ipojuca formam profissionais aptos a atuar nas indústrias e empresas da região e buscam oferecer a seus alunos subsídios para a realização pessoal nos sentidos profissional, econômico, social, ético e cultural.

Hoje o *Campus* Ipojuca possui um total aproximado de 1500 estudantes matriculados nos três turnos de aula. São oferecidos atualmente cinco cursos Técnicos Subsequentes (Automação Industrial, Construção Naval, Petroquímica, Química e Segurança do Trabalho), dois cursos superiores (Engenharia Mecânica e Licenciatura em Química) e dois cursos técnicos na modalidade Integrado ao Ensino Médio (Mecânica e Segurança do Trabalho).

O *Campus* Ipojuca conta com laboratórios (Cultura *Maker*, Química, Automação Industrial, Segurança do Trabalho e Oficina Mecânica) devidamente equipados para a realização de atividades práticas do projeto, como confecção de amostras, protótipos e realização de experimentos e testes físico-químicos que vierem a ser necessários para o desenvolvimento do presente projeto. Também dispõe de sala para reuniões e pesquisa com computador e acesso à internet, biblioteca, miniauditório para eventos e veículo oficial para visitas técnicas.

3.2 O setor eólico pernambucano

Em Pernambuco são mais de 472 aerogeradores em operação em 41 parques eólicos (ABEEÓLICA, 2023; ANEEL, 2023), a maioria deles localizada no Sertão, como mostrado na Figura 3, fazendo do estado o 6º maior produtor de energia eólica do país. Municípios como Araripina, Caetés, Paratama, Capoeiras, Pedra, Venturosa, Tacaratu e Gravatá abrigam importantes usinas eólicas do estado, ultrapassando a marca de 1GW de potência instalada.

Figura 3. Localização dos parques eólicos no Estado de Pernambuco.



Fonte: Adaptado de ANEEL (2023).

Estima-se que o potencial eólico pernambucano seja de 74GW, isto é, ainda há muito a explorar. Além disso, é previsto que o estado tenha investimentos de R\$ 10 bilhões nos próximos quatro anos nas fontes de energia eólica e solar (AGÊNCIA BRASIL, 2022; CASTILHO, 2022).

Importantes fábricas do setor eólico estão concentradas no Complexo Industrial e Portuário de Suape, fabricantes de sistemas para turbinas eólicas, atendendo as demandas dos parques eólicos atuais e em construção do Nordeste, em especial Bahia, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Ceará.

A primeira edição do projeto “Mulheres na Eólica” contou com a participação da **SIW Kits Eólicos Ltda.** como empresa parceira. A empresa possui uma unidade produtiva em Ipojuca-PE desde 2020 e tem como principal escopo de atividade os serviços de corte e conformação de núcleos em madeira balsa e espumas poliméricas para pás de turbinas eólicas. Possui cerca de 140 funcionários e entrega peças prontas de acordo com os requisitos previamente estabelecidos e as especificações de seus clientes, como a *LM Wind Power* do Brasil. A SIW gera cerca de 22 toneladas de resíduos de espuma plástica por mês, cujo destino são os aterros sanitários (resíduo classe II). A espuma de PET (polietileno tereftalato) é um material de núcleo estrutural utilizado como enchimento de pás das turbinas eólicas, por ser um material de baixo custo e leve. No entanto, é um polímero termoplástico de difícil biodegradação e sua disposição final em aterros sanitários torna-se um problema.

A segunda edição do projeto contou com a parceria da **LM Wind Power do Brasil**, inaugurada em 2013 no Complexo Industrial e Portuário de Suape, sendo a única unidade fabril da América Latina do grupo dinamarquês, uma divisão da *GE Renewable Energy Business*. A unidade possui uma área de 40 mil m² e capacidade para produzir 1000 pás por ano, com cerca de 1400 funcionários (sendo 400 mulheres). A *LM Wind Power* é líder mundial no fornecimento e design de pás para o mercado de energia eólica, com presença global, considerada a fabricante de pás de turbinas eólicas mais avançadas, confiáveis e de alta qualidade do setor. A unidade do Brasil é especializada em fabricar pás longas, com 77 metros de comprimento, uma tendência do mercado global impulsionada pela necessidade de rotores maiores que geram mais energia por turbina.

Uma forte demanda da *LM Wind Power* do Brasil é pela necessidade de reduções contínuas de custos em todo ciclo produtivo. Para tanto, defende a capacitação intensa de seus colaboradores para ensinar as habilidades necessárias para a produção de pás eólicas. Acredita na oferta de oportunidades para jovens começarem seu primeiro emprego em uma indústria de energia estrategicamente importante,

verde e crescente. Seus funcionários costumam vir de comunidades locais próximas à fábrica, das cidades de Ipojuca e Cabo de Santo Agostinho. Em fevereiro de 2022, a LM fechou a contratação exclusiva de 30 jovens aprendizes mulheres para atuar na produção das pás eólicas.

A segunda edição do projeto também contou com a participação do **Grupo Brennand Energia** que possui um Centro de Operações no bairro de Boa Viagem, no Recife, para monitorar remotamente as condições operacionais de seus aerogeradores instalados em parques eólicos do sertão baiano.

A terceira edição do projeto contou com a participação da **Vestas do Brasil Energia Eólica Ltda.**, uma subsidiária de Vestas *Wind Systems S/A*, companhia dinamarquesa. Foi aberta no Brasil em 2011 e, em Pernambuco, conta com uma unidade em Gravatá para estoque de peças e apoio para serviços manutenção de aerogeradores em parques eólicos da região.

3.3 Etapas do projeto Mulheres na Eólica

O projeto “Mulheres na Eólica” foi composto de duas etapas. Na primeira etapa, foi oferecido um curso de capacitação com duração de 1 mês, para 100 mulheres (por edição), ministrado de forma totalmente remota (*Google Classroom*), com atividades síncronas e assíncronas, para garantir a segurança dos estudantes no período pandêmico da COVID-19 e também um maior alcance da ação. O curso teve uma carga horária total de 32h e abrangeu o seguinte conteúdo: Introdução à energia eólica, evolução no Brasil e no mundo, panorama atual e perspectivas futuras da eólica em Pernambuco. Componentes gerais de aerogeradores. Materiais compósitos e processos de fabricação de pás eólicas. Aspectos construtivos, operacionais e de manutenção de parques eólicos. Danos durante a fabricação e em serviço, técnicas de inspeção aplicadas aos aerogeradores. *Repowering*, descomissionamento e reciclagem de parques eólicos. Sustentabilidade e futuro da energia eólica.

Na segunda etapa, foi realizada uma seleção de 10 estudantes (por edição), dentre as participantes aprovadas no curso de capacitação, para uma imersão tecnológica na empresa parceira, com duração de 3 meses. As estudantes foram selecionadas por meio de uma prova teórica aplicada e foram contempladas com bolsa de R\$ 500,00/ mês, custeadas pela SECTI/FACEPE. Somando-se as duas edições custeadas com recurso da SECTI/FACEPE, foram destinados R\$ 30.000,00 para o pagamento de 20 bolsas de extensão às estudantes contempladas.

Na imersão, as estudantes realizaram visitas semanais na empresa parceira para conhecer os processos de fabricação, identificar problemas reais e propor soluções com base em seus conhecimentos adquiridos no curso e na sua formação acadêmica técnica em andamento no IFPE.

4. PRINCIPAIS RESULTADOS DO PROJETO MULHERES NA EÓLICA

Na imersão tecnológica junto a empresa SIW *Kits Eólicos Ltda*, as bolsistas conseguiram propor soluções inéditas para os problemas reais levantados na empresa, entre eles, ideias para reciclagem de resíduos de plástico PET que são destinados ao aterro sanitário, melhorias na sinalização e segurança da fábrica, palestra sobre segurança e DST's na Semana interna de Prevenção de Acidentes no Trabalho.

Esta ação recebeu certificado de destaque no Seminário de Integração e Avaliação Final promovido pela SECTI/FACEPE em 2021.

Na imersão tecnológica na LM *Wind Power*, foram realizadas visitas técnicas quinzenais para conhecer os processos de fabricação de pás eólicas e seus componentes. Também foi promovida pelas bolsistas do projeto uma gincana em comemoração ao Dia Mundial do Vento (15 de junho) na LM *Wind Power* e também na SIW *Kits Eólicos Ltda.* Os locais visitados na empresa parceira incluíram: um tour geral por toda a fábrica, laboratório de química e controle de matérias-primas recebidas, galpão de infusão a vácuo, sala de treinamentos, galpão de produção de *sparcaps* e *shear webs*, galpão de pós-molde, setor de *Service* (assistência técnica pós-venda), e manutenção (mecânica e eletrônica dos controladores lógicos programáveis dos equipamentos de infusão da pá.

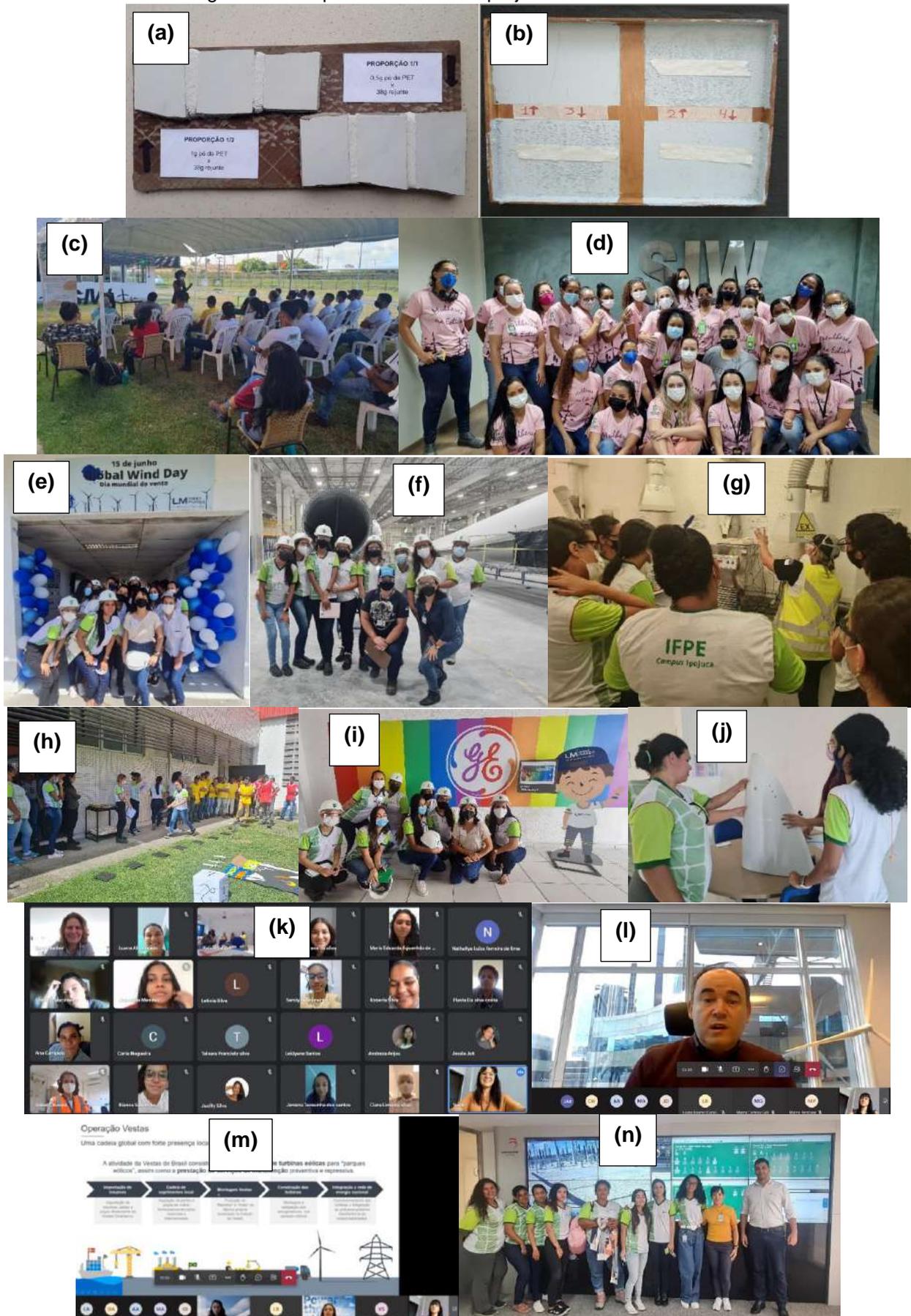
Vale ressaltar ainda que no curso de capacitação tivemos a participação da prof. Sarah Barber, da Universidade de OST (Suíça) palestrando às estudantes. Foi uma tarefa difícil de conseguir fazer com que a palestra sobre diversidade de gênero na área eólica, ministrada em inglês, pudesse alcançar o entendimento das estudantes. Isto foi possível com a gravação prévia da palestra no Youtube e colocação de legendas em português e as estudantes tiveram alguns dias de antecedência para assistir ao vídeo e trazer perguntas para a prof. Sarah, como atividade avaliativa da etapa 1. Foi uma troca bastante enriquecedora nesta ponte Brasil-Suíça.

Na parceria com a Vestas do Brasil, desta vez sem bolsas de estudo, foi realizado somente o curso de capacitação totalmente remoto, com colaboradoras da Vestas engenheiras palestrando para as estudantes do IFPE sobre diversos temas, como logística no transporte das pás, mercado de energia eólica, atuação da Vestas no Brasil entre outros.

Os principais resultados estão registrados na Figura 4:

- (a) Reciclagem de resíduo PET eólico para incorporação em rejuntas.
- (b) Reciclagem de resíduo PET eólico para incorporação em tintas texturizadas.
- (c) Palestra sobre DST's na Semana Interna de Prevenção de Acidentes na SIW *Kits Eólicos Ltda.*
- (d) Estudantes certificadas ao final da imersão tecnológica da primeira edição do projeto.
- (e) Comemoração ao Dia Mundial do Vento na LM *Wind Power* do Brasil.
- (f) Visita técnica ao galpão de pós-molde da LM *Wind Power* do Brasil.
- (g) Visita técnica ao laboratório de Química da LM *Wind Power* do Brasil.
- (h) Gincana na SIW *Kits Eólicos Ltda.* para comemorar o Dia Mundial do Vento em 2022.
- (i) Visita técnica na LM *Wind Power* do Brasil.
- (j) Visita ao setor de *Service* da LM *Wind Power* do Brasil.
- (k) Palestrante da Universidade de OST (Suíça) sobre diversidade de gênero no setor eólico.
- (l) Palestra de boas-vindas ao projeto pelo presidente da Vestas do Brasil Sr. Eduardo Ricotta.
- (m) Palestra de Colaboradoras Engenheiras da Vestas do Brasil.
- (n) Visita ao Centro de Operações do Grupo Brennand Energia no Recife-PE.

Figura 4. Principais resultados do projeto Mulheres na Eólica.



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O projeto Mulheres na Eólica envolveu homens e mulheres para acelerar a capacitação de estudantes mulheres para o mercado de trabalho, promovendo uma rede local de residência tecnológica e inovação para formação de recursos humanos e o compartilhamento de conhecimento voltado à resolução de problemas reais da indústria eólica de Pernambuco.

Desde a criação do projeto em 2021, mais de 85 estudantes do *Campus Ipojuca* do Instituto Federal de Pernambuco já foram capacitadas em energia eólica. E na etapa de imersão tecnológica, soluções inéditas para problemas reais das empresas parceiras foram criadas pelas estudantes contempladas com bolsa pelo projeto.

Por esta razão, novas oportunidades para melhorar a capacitação tecnológica na indústria são necessárias para consolidar a energia eólica como parte de um sistema de energia sustentável para o futuro. A capacitação tecnológica impulsiona a inovação, abre novos caminhos para a implantação de tecnologia e para o desenvolvimento socioeconômico, como também fornece um pool mais rico de talentos para indústrias importantes e emergentes, como é o caso da eólica em Pernambuco.

É hora de repensar a maneira como as empresas eólicas estão lidando com as questões de diversidade de gênero e inclusão em seus modelos de negócios. Como exaustivamente proposto na literatura, a superação da desigualdade de gênero no campo profissional e científico rumo à igualdade não é apenas uma questão de acesso a programas de formação profissional, seja no ensino médio ou no ensino superior profissional. Implicaria atuar em prol da participação igualitária das mulheres em todos os contextos da vida social, econômica e política, incluindo a produção e o desenvolvimento da ciência e tecnologia e a desconstrução de estereótipos. Além disso, ainda são necessárias políticas afirmativas para a equidade étnica e de gênero em STEM.

A inclusão de mulheres na força de trabalho em todo o mundo já demonstrou vários benefícios não apenas para as mulheres, mas também para suas famílias, comunidades e economia de seus países. De fato, as mulheres podem melhorar o desempenho corporativo, aumentar a liderança da equipe, a motivação e a responsabilidade, por exemplo.

Portanto, o mais importante em termos de energia sustentável é que a diversidade de gênero estimule a implantação de novas tecnologias na indústria eólica, especialmente para mercados emergentes, contribuindo para o desenvolvimento social e econômico em bases sólidas necessárias para a transição energética rumo ao *net zero*.

REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA E NOVAS TECNOLOGIAS). **Infovento n° 31**. Jun 2023. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/energia-eolica/dados-abeeolica/>>. Acesso em: 25 jun. 2023.

AGÊNCIA BRASIL. **Geração instantânea de energia eólica no Nordeste tem novo recorde**. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-07/geracao-instantanea-de-energia-eolica-no-nordeste-tem-novo-recorde>>. Acesso em: 26 jun. 2023.

ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA). **Sistema de Informações Gerenciais (SIGA)**. 2023. Disponível em: <<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>>. Acesso em: 28 jul. 2023.

BARUAH, B. Renewable inequity? Women's employment in clean energy in industrialized, emerging and developing economies. **A United Nations Sustainable Development Journal**, v. 41, 2016, pp. 18-29. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/1477-8947.12105>>. Acesso em: 14 abr. 2023.

BROADCAST ENERGIA. **A agenda ESG: o desafio do setor elétrico para ampliar diversidade**. 2021. Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/55_10_collet_2021_03_10.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2023.

CASTILHO, F. Onda de energias renováveis no Nordeste faz Pernambuco entrar no "top five" da geração no país. **Jornal do Comércio**. 02 jan. 2022. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/colunas/jc-negocios/2022/01/14928320-onda-de-energias-renovaveis-no-nordeste-faz-pernambuco-entrar-no-top-five-da-geracao-no-pais.html?utm_source=fb-ne10>. Acesso em: 19 fev. 2023.

CZAKO, V. **Employment in the Energy Sector**. Joint Research Centre, Publications Office of the European Union, 2020, 64p. Disponível em: <<https://doi.org/10.2760/95180>>. Acesso em: 22 abr. 2023.

FALCÃO, J. B. L.; STRAPASSON, A. B.; COSTA, H. K. M.; MASULINO, N. W. N.; BARBOSA, M. C. B. **Energy & Gender: An assessment on gender equality in the energy sector in Brazil**, Technical report commissioned by the British Embassy in Brazil in collaboration with the UK Prosperity Fund: Energy Programme, 2019, 81p. Disponível em: <<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19253.52964>>. Acesso em: 13 abr. 2023.

FIERN (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE). **SENAI-RN apresenta estratégias para aumentar diversidade no setor de energia eólica**. 2021. Disponível em: <<https://www.fiern.org.br/senai-rn-apresenta-estrategias-para-aumentar-diversidade-no-setor-de-energia-eolica/>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

FRAUNE, C. Gender matters: Women, renewable energy, and citizen participation in Germany. **Energy Research & Social Science**, v. 7, 2015, pp. 55-65. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.02.005>>. Acesso em: 01 jun 2023.

GWEC (GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL). **Capturing Green Recovery Opportunities from Wind Power in Developing Economies**. 2022, 81p. Disponível em: <<https://gwec.net/embracing-a-green-recovery-from-the-covid-19-pandemic-could-add-2-2-million-energy-jobs-in-key-developing-economies-report-finds/>>. Acesso em: 22 mar. 2023.

GWNET (GLOBAL WOMEN'S NETWORK FOR THE ENERGY TRANSITION). **Women for Sustainable Energy: Strategies to Foster Women's Talent for Transformational**. 2019. Disponível em: <<https://www.globalwomensnet.org/women-for-sustainable-energy/>>. Acesso em: 01 mar. 2023.

IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). **Renewables 2021: analysis and forecast to 2026**. 2021. Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/5ae32253-7409-4f9a-a91d-1493ffb9777a/Renewables2021-Analysisandforecastto2026.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

IRENA (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY). **Renewable Energy and Jobs**, Annual Review. 2021. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2021/Oct/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2021>>. Acesso em: 22 mar. 2023.

IRENA (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY). **Wind energy: a gender perspective**. 2020. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2020/Jan/Wind-energy-A-gender-perspective>>. Acesso em: 12 mar. 2023.

LUCENA, J.A.Y.; LUCENA, K.A.A. Wind energy in Brazil: an overview and perspectives under the triple bottom line, **Clean Energy**, v. 3, n. 2, 2019, pp. 69-84. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/ce/zkz001>>. Acesso em: 29 jun. 2023.

MORCELLE, V.; FREITAS, G.; LUDWIG, Z. M. C. From School to University: An Overview on STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) Gender in Brazil. **Quarks: Brazilian Electronic**

Journal of Physics, Chemistry and Materials Science, v. 1, 2019. Disponível em:
<<https://doi.org/10.34019/2674-9688.2019.v1.28228>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

NAÇÕES UNIDAS. Department of Economic and Social Affairs. **Sustainable Development Goals**. 2022. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/goals>>. Acesso em: 11 mar. 2023.

OFFSHORE WIND INDUSTRY COUNCIL. **Diversity & Inclusion: focusing on gender and ethnicity in the offshore wind sector**. 2020. Disponível em: <https://www.globalwomennet.org/wp-content/uploads/2021/01/OWIC_BPG_Diversity_Inclusion.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2023.

OLIVEIRA, E. R. B.; UNBEHAUM, S.; GAVA, T. STEM education and gender: a contribution to discussions in Brazil. **Cad. Pesqui.**, v. 49, 2019. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1590/198053145644>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

PEARL-MARTINEZ, R.; STEPHENS, J. C. Toward a gender diverse workforce in the renewable energy transition. **Sustainability: Science, Practice and Polic**, v. 12, 2016, pp. 8-15. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1080/15487733.2016.11908149>>. Acesso em: 14 abr. 2023.

Contribuição dos Empreendimentos Eólicos para expansão do conhecimento da fauna alada no Brasil

Wind Enterprises' Contribution to Expand Knowledge on Winged Fauna in Brazil

Marcela Marega Imamura^{1*}; Ana Teresa Meireles de Carvalho Caldas¹; Bruno de Souza Valente¹; Ruanna Chaves dos Santos²; Ícaro Menezes Pinto³; Brenda de Oliveira Rocha Pita¹; Emiliano José Silva Santiago¹; Jéssica Madeira de Oliveira¹; Luis Gustavo Fernandes Serra¹; Marcel Peruzzo Scarton¹; Maria Cláudia Oton Oliveira Magalhães Ferreira¹; Nathan Harahel Costa de Castro Souza¹; Pedro de Moraes Bettencourt da C C Coutinho¹; Fabiano Carvalho Melo¹

¹Temis Projetos de Meio Ambiente e Sustentabilidade (contato@temis-es.com.br)

²Prefeitura Municipal de Cairu

³Universidade Estadual de Santa Cruz

marcelaimamura@temis-es.com.br, anateresa@temis-es.com.br, brunovalente@temis-es.com.br, RuannaChavez@hotmail.com, icaro.bio.uesc@gmail.com, brendapita@temis-es.com.br, emiliano@temis-es.com.br, jessicaoliveira@temis-es.com.br, luisgustavo@temis-es.com.br, marcelscarton@temis-es.com.br, maria.claudia@temis-es.com.br, nathancosta@temis-es.com.br, pedro.bettencourt@nemus.pt, fabianomelo@temis-es.com.br

RESUMO

Tendo em vista a crescente produção de energia eólica no Brasil e os impactos gerados sobre a fauna alada, combinado a uma carência de divulgação de produções científicas voltadas a esse assunto no Brasil, o presente estudo apresenta e caracteriza o conhecimento científico sobre a temática no Brasil gerado entre os anos de 2014 até 2021. Buscas bibliográficas foram realizadas em três bases de dados através de palavras-chaves relacionadas a temática. Um total de doze estudos foram identificados e analisados. Foi evidenciado a evolução na geração de conhecimento sobre a interação parque eólico e fauna alada principalmente para a região sul do Brasil, enquanto na região Nordeste, líder em produção de energia eólica, os estudos realizados e publicados foram expressivamente mais escassos. Os resultados apontam uma necessidade de ampliar a parceria entre as Instituições de Ensino Superior, consultorias ambientais e empreendedores, para uma melhor divulgação do conhecimento construído nas áreas de influência de parques eólicos. Os resultados obtidos podem orientar o desenvolvimento de estudos futuros, apresentando lacunas existentes no conhecimento sobre impactos de complexos eólicos sobre a fauna alada.

Palavras-chaves:

Energia Eólica; Cienciometria; Fauna alada; impacto; avifauna; quiropterofauna.

ABSTRACT

In a scenario of wind energy growing production in Brazil and the impacts generated on winged fauna, combined with a lack of scientific knowledge dissemination focused on this subject in Brazil, the present study presents and characterizes the Brazilian scientific production on this subject generated between the years 2014 to 2021. Bibliographic searches were carried out in three databases using keywords related to the subject. Twelve studies were compiled and analyzed. We evidenced the evolution in knowledge production about the wind farm and winged fauna interaction, mainly for the Brazil southern region, while in the Northeast region, leader in wind energy production, the number of studies carried out and published were very low. The results point to a need for partnership between Higher Education Institutions, environmental consultants and entrepreneurs, for a better knowledge dissemination built in the wind farms' influence areas. Our results can guide the development of future studies, showing existing gaps in knowledge about impacts of wind farms on winged fauna.

Keywords:

Wind Energy; Scientometrics; Winged fauna; Impact; Avifauna; Chiropteroфаuna.

1. INTRODUÇÃO

O uso de energia eólica se expande a cada ano em todo o Brasil. O crescimento de energia eólica, limpa e sustentável se deve às suas baixas emissões de gases de efeito estufa em comparação ao uso de combustíveis fósseis para a produção de energia. Essa característica de baixas emissões, combinadas à topografia favorável e extensas áreas com ventos fortes em território brasileiro favorecem a implantação desses empreendimentos eólicos associados a incentivos fiscais que favorecem esse grande avanço (PINTO *et al.*, 2017; NERI *et al.*, 2019). Dessa maneira, mais de 80% de toda a geração eólica do Brasil se concentra no Nordeste, especificamente no bioma Caatinga (NERI *et al.*, 2019; ABEEólica, 2021).

Apesar de empreendimentos eólicos serem projetos que apresentam condições adequadas para uma boa integração ambiental, identificados como instalações limpas, não poluentes e sem graves consequências sobre o meio ambiente e independentes de combustíveis fósseis para produzir energia elétrica (SAIDUR *et al.*, 2011), tais estruturas também causam impactos ambientais negativos. Os impactos negativos podem ser tanto em escala espacial quanto temporal, por serem agentes de perda e fragmentação de habitats (FORMAN & ALEXANDER, 1998; FORMAN & DEBLINGER, 2000), o que resulta em significativa alteração e redução da biodiversidade (FAHRIG & RYTWINSKI, 2009).

Os principais impactos dos parques eólicos à fauna silvestre são: i) perda e fragmentação direta de habitat devido à supressão da vegetação para a construção; ii) deslocamento de populações por meio da perda indireta de habitat, principalmente de aves e morcegos; e iii) morte da fauna alada por colisão com as estruturas ou eletroplessão, a exemplo as pás dos aerogeradores e linhas de transmissão (LEUNG & YANG, 2012; MARQUES *et al.*, 2014).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em parques eólicos, a grande altura e diâmetro das pás dos aerogeradores implicam em acidentes de colisão com aves e morcegos. As aves representam um grupo faunístico seriamente afetado pelas atividades antropogênicas (JOHNSON *et al.*, 2017). Possuem especializações únicas e respondem de forma diferente de outros grupos de vertebrados terrestres às mudanças no habitat natural (WIENS, 1989), sendo, portanto, excelentes indicadoras da qualidade ambiental (VERNER, 1981).

Os morcegos são animais sensíveis a atividades antrópicas que resultam em perturbações e mudanças em seus ecossistemas (BARROS, 2019), nesse contexto, parques eólicos em operação apresentam um risco para as populações de quirópteros, que estejam sob a área de influência desses empreendimentos.

Segundo Barros (2019), no Brasil, quatro fatores potencializam o impacto de parques eólicos sobre morcegos e dificultam sua prevenção: “(1) instalação de aerogeradores em locais com alta riqueza de morcegos, incluindo espécies ameaçadas e endêmicas; (2) conhecimento insatisfatório sobre interações entre morcegos e parques eólicos; (3) legislação e licenciamento ambientais pouco eficientes; e (4) colaboração limitada por parte de empreendedores e órgãos ambientais para desenvolver pesquisas e acessar dados gerados durante os processos de licenciamento”.

Assim como a avifauna, a quiropterofauna também é afetada pela colisão direta, bem como pelo barotrauma (repentinas mudanças de pressão atmosféricas que causam severas alterações metabólicas) (BAERWARLD, 2008). Na região próxima à extremidade das lâminas das turbinas, a rotação das hélices faz com que a pressão atmosférica sofra uma queda, ocasionando uma expansão repentina dos seus pulmões o que resulta no rompimento dos vasos capilares do órgão, hemorragia interna e morte (BARBOSA FILHO, 2013).

Cabe destacar que o Brasil é signatário da Convenção sobre Espécies Migratórias de Animais Selvagens (CMS, do inglês Convention on Migratory Species) na qual, em sua Resolução 7.5 trata do compromisso do país em envidar esforços para a conciliação entre a exploração do potencial eólico e a conservação deste recorte da biodiversidade de interesse global (ICMBio, 2019).

Assim, os impactos relacionados à avifauna e quiropterofauna podem ser significativos e devem ser tratados com muita atenção, principalmente para a fase de operação dos parques eólicos (MOURA-FÉ E PINHEIRO, 2013). A mortalidade por colisão com turbinas eólicas pode causar redução das populações, principalmente em espécies de reprodução lenta e/ou espécies migratórias, que são as mais afetadas (DAHL *et al.* 2012; VOIGT *et al.* 2012; CARRETE *et al.* 2009).

Nesse contexto, o recente e rápido crescimento da quantidade de complexos eólicos no Brasil é um fator preocupante para a conservação da fauna alada, tendo em vista que os impactos foram documentados e publicados em sua maioria em outros países, onde já existem dados mais concisos relacionados à temática. Assim, poucos estudos a respeito do assunto foram publicados em terras nacionais (BARROS, 2019). Farkatt & Costa (2016) investigaram as produções científicas relacionadas a Energia Eólica entre os anos 2000 e 2015 onde identificaram que 80% da produção científica vem de universidades públicas, sendo as principais responsáveis pelo processo de construção do conhecimento gerado sobre a temática no Brasil.

Enquanto muito do conhecimento produzido fica restrito a projetos de licenciamento ambiental que atuam diretamente nos complexos eólicos, Instituições de Ensino Superior (IES) que são as principais disseminadoras de conhecimento científico, acabam por não ter acesso aos dados deste tipo de empreendimento (BARROS, 2019).

A disseminação desse conteúdo desenvolvido pelas consultoras ambientais, é fundamental e imprescindível para melhor entendimento de alterações na ecologia e no comportamento das espécies de fauna no entorno de complexos eólicos. Sendo assim, pesquisas voltadas a interação de aves e morcegos com parques eólicos são essenciais e fornecem dados importantes para promover medidas de mitigação. Esses estudos são amplamente necessários para a investigação de possíveis alterações na dinâmica de espécies do grupo como alterações de rotas de migração, pontos de repouso, reprodução e alimentação.

Assim, o presente estudo buscou mostrar o panorama dos estudos voltados a temática interação entre fauna alada e aerogeradores durante a operação de complexos eólicos. A partir de análises cienciométricas, o objetivo do presente estudo foi identificar o padrão das pesquisas referentes à relação entre a operação de Parques Eólicos e a fauna alada, e, a partir dos resultados obtidos, compreender o quanto e como estes estudos contribuíram para o conhecimento da fauna alada. Os objetivos específicos deste estudo foram: (i) verificar se há as lacunas de conhecimento da temática no Brasil; (ii) investigar quais são as instituições envolvidas nas produções científicas; (iii) apontar recomendações de pesquisa a curto, médio e longo prazo com base nas análises cienciométricas.

3. MÉTODO DO ESTUDO

A metodologia consistiu em buscas nas plataformas bibliográficas digitais, para tanto, foi realizada uma revisão sistemática de literatura sobre interação avifauna, morcegos e Parques Eólicos no Brasil a partir de buscas realizadas em três plataformas bibliográficas: o Portal de Periódicos e o Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES) criado pela Fundação CAPES do Ministério de Educação do Brasil; os Anuários de 2016 a 2020 do Congresso Brazil Wind Power - o maior evento sobre energia eólica da América latina e a plataforma Web of Knowledge.

As buscas foram feitas no rótulo de campo Tópico (Título, resumo, palavras-chaves) e foram definidas 13 palavras-chaves, em inglês e português, estabelecidas de acordo com os objetivos do estudo (Tabela 1). Todos os tipos de produções científicas foram utilizados na análise, tanto literatura branca (i.e., periódicos científicos impressos e on-line, livros, capítulos de livros) quanto literatura cinza (i.e., anuários de eventos, monografias, dissertações e teses).

Em seguida, foram extraídas as seguintes informações de cada estudo: Autores, Nomes das Instituições envolvidas, tipo (Universidade, Instituição de pesquisa, Organização não governamental e empresa), localização e coordenadas geográficas das instituições envolvidas; Área(s) de estudo e coordenadas geográficas; Grupo(s) de animais alvo (Avifauna ou Morcegos) e Tipo de produção científica: literatura branca (artigo científico, capítulo de livro) e/ou literatura cinzenta (resumo do Congresso Brazil WindPower, monografia, dissertação e tese).

Tabela 1: Termos (inglês e português) utilizados para a pesquisa da produção científica sobre interação avifauna, morcegos e Parques Eólicos no Brasil, esquematizados por operadores Booleanos. (* = é utilizado para recuperar variações de singular e plural ou diferenças na grafia e terminações das palavras).

| Palavras-chave | Bases de Dados |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brazil OR Brasil OR Northeastern Brazil OR Nordeste do Brasil | Portal de Periódicos e o Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES) |
| AND | |
| Wind Power OR Eólica OR Wind Farm* OR Empreendimento* Eólico | Anuários de 2016 a 2020 do Brazil Wind Power |
| AND | |
| Bird* OR Ave* OR Bat* OR Morcego* | Web of Knowledge |

Após a identificação das produções científicas, foi feita uma análise estatística exploratória do número de produções científicas, instituições envolvidas e os grupos de animais estudados e a quantidade da produção científica entre 2014 e 2021. Através do software QGIS (3.10.10). Confeccionou-se um mapa da distribuição dos parques eólicos relatados nos estudos e da localização das instituições em relação aos parques eólicos, para compreender a proximidade desses empreendimentos com a localização das instituições envolvidas nas produções.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As produções científicas encontradas abrangeram dois grupos alvos de animais, mais da metade foram com morcegos (58,3%; n = 7), seguidos de aves (33,3%; n = 4). Apenas um estudo não especificou o grupo (n = 1). Como resultado nas plataformas de pesquisa on-line, foi registrado um total de 12 produções científicas sobre a interação de aves e morcegos com os parques eólicos no Brasil (Figura 1).

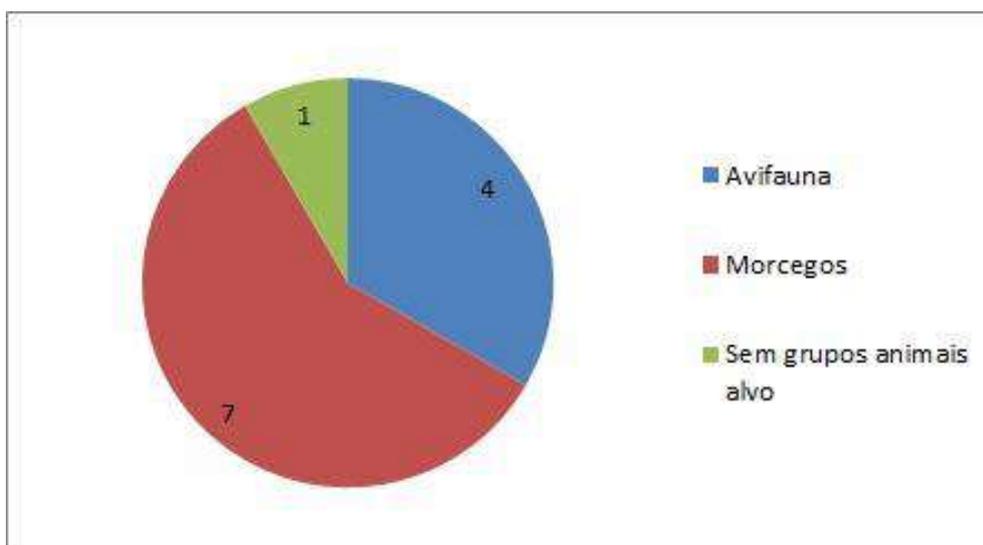


Figura 1. Distribuição das publicações sobre a interação de aves e morcegos com os parques eólicos no Brasil por grupo animal alvo de investigação.

Trinta e três por cento (33%) das produções foram publicadas no ano de 2019. Em contrapartida, os anos de 2014, 2017 e 2018 apresentaram apenas uma publicação, que correspondia aos objetivos do presente estudo (Figura 2). A produção científica foi equilibrada entre literatura branca (50%) e literatura cinzenta (50%). Foram subdivididas em quatro tipos, a metade foi de artigos em periódicos revisados por pares (n= 6; 50%) e em seguida, dois resumos do congresso Brazil Power Wind (16,7%), duas teses de doutorado (16,7%) e duas dissertações (16,7%).

O número reduzido de estudos relativos ao impacto de parques eólicos sob a fauna alada pode estar associado ao pouco tempo que está tecnologia de geração de energia passou a ser adotada no Brasil. Enquanto a implementação de complexos eólicos em terra internacionais se deu no início dos anos 80 (LANTZ, 2012), no Brasil, apesar de já apresentar crescimento significativo no âmbito da energia elétrica nacional, o uso da energia eólica começou a ser utilizada recentemente com a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) em 2002 (RAMPINELLI & ROSA JÚNIOR, 2012; ANEEL, 2021).

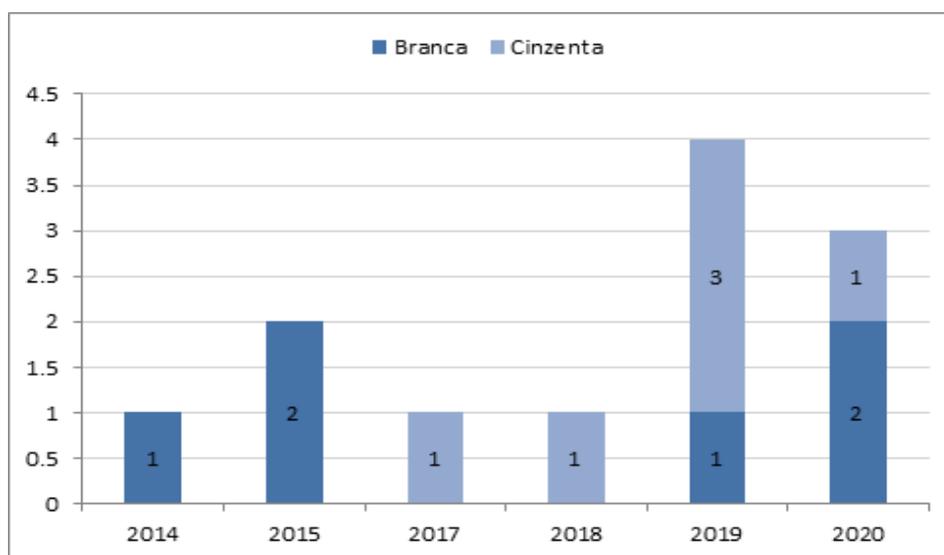


Figura 2. Distribuição das publicações sobre a interação de aves e morcegos com os parques eólicos no Brasil ao longo dos anos

Das produções científicas analisadas, foi possível identificar 25 autores diferentes envolvidos. O número de autores variou de 1 a 6 por produção (média e desvio padrão = $2,7 \pm 1,6$). Identificou-se 11 instituições nacionais envolvidas nas produções científicas. Dentre elas, universidades (n = 5), instituições de pesquisa (n = 2), organização não governamental (n = 1) e empresas de consultoria ambiental (n = 3). Além disso, os estudos foram desenvolvidos por instituições próximas aos empreendimentos de energia eólica (Figura 3).

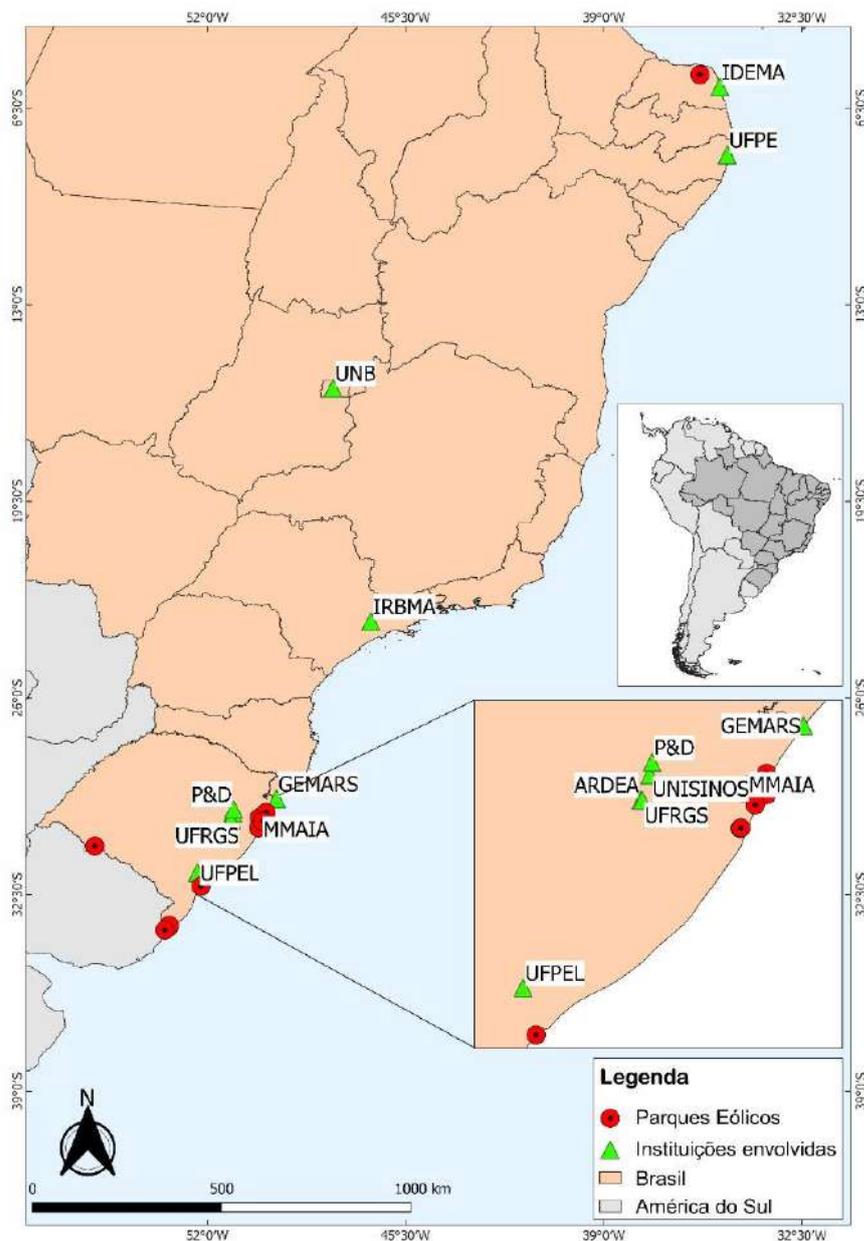


Figura 3. Distribuição das instituições e parques eólicos envolvidos nas publicações encontradas.

Quanto à localização dos parques eólicos estudados, apenas sete (58,3%) produções científicas relataram esta informação. Foram identificados 8 parques eólicos nos estudos, distribuídos no estado do Rio Grande do Norte no Nordeste do Brasil e no Rio Grande do Sul, sudeste do país e estão inseridos em dois biomas brasileiros, Caatinga e Pampa, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Parques eólicos identificados nas produções científicas sobre interação de aves ou morcegos com parques eólicos no Brasil entre 2014 e 2021 e sua localização (RS = Rio Grande do Sul; RN = Rio Grande do Norte).

| Parque Eólico | Estado | Localização Geográfica |
|-------------------------|--------|---------------------------|
| Osório | RS | -29.978117;-50.071368 |
| Santa Vitória do Palmar | RS | -33.57251111;-53.25879444 |
| Palmares do Sul | RS | -30.289215;-50.308909 |
| Rio Grande | RS | -32.21998;-52.204164 |
| Santana do Livramento | RS | -30.897328;-55.68194 |
| Xangri-lá | RS | -29.778102;-50.071368 |
| Chuí | RS | -33.67308;-53.3832292 |
| Tramandaí | RS | -30.069641;-50.181125 |
| João Câmara | RN | -5.398055556;-35.8475 |

O Brasil se caracteriza por seu grande potencial de ventos que favorece os empreendimentos da energia eólica, isto porque os ventos no país possuem uma velocidade média anual maior que a média mundial, além de baixa oscilação de 5% (SOARES, 2010). Diante disso, tem-se o Nordeste e o Sul como regiões atrativas para a tecnologia eólica, sendo representados pelo estado do Rio Grande do Norte, Ceará e Rio Grande do Sul, respectivamente (RAMPINELLI & ROSA JÚNIOR, 2012). Estas regiões apresentam velocidades médias anuais de 7 a 8,5m/s (AMARANTE *et al.*, 2001).

Enquanto países na América do Norte e Europa são pioneiros, tanto na produção de energia eólica quanto na produção de conhecimento voltado a fauna alada direta e indiretamente afetada pela presença de empreendimentos eólicos, o Brasil vivencia um crescimento na produção de energia eólica, que acaba por não ser acompanhada no mesmo ritmo pela disseminação e produção de conhecimento científico voltado para os grupos faunísticos afetados. A partir dos dados obtidos é possível indicar a necessidade de mais estudos localizados no Brasil. Uma revisão recente abordou a necessidade urgente de quantificar as espécies vulneráveis a esse tipo de colisão globalmente e destacou que a maioria dos estudos relacionados a temática têm se concentrado em países desenvolvidos (SCHUSTER *et al.*, 2015).

O Brasil, 6º do mundo em geração de energia eólica (HUTCHINSON; ZHAO, 2023), figura entre os países com maior biodiversidade de aves e morcegos no mundo ("Global Big Day - eBird", 2023) (BERNARD, 2011), todavia, países como: Canadá, EUA, Espanha e Noruega, estão na vanguarda do estudo de fauna alada e turbinas eólicas, tendo uma quantidade significativamente maior de estudos publicados sobre esse assunto (e.g. ARNETT, 2013; FARFÁN, 2009; MAY, 2020). O Brasil se ausenta como um expoente de conhecimento acerca dos impactos sobre a fauna alada em parques eólicos, mesmo com todo potencial para tal feito.

Desde o final dos anos 90 a presença de energia elétrica gerada por turbinas eólicas é uma realidade no Brasil, no entanto, ao longo desses 20 anos, a quantidade de estudos publicados relacionados à fauna alada influenciada pela presença de parques eólicos não é tão expressivo.

Outro ponto a ser observado é a quantidade de estudos realizados no estado do Rio Grande do Sul, local onde o desenvolvimento de complexos eólicos despontou no Brasil por volta de 2007 (CUNHA, 2019). As produções científicas e análises de impactos são significativamente maiores lá do que em outros pontos do Brasil, como o Nordeste, região na qual a produção de energia eólica vem crescendo exponencialmente nas duas últimas décadas.

O tempo em operação dos parques eólicos, se prova um fator determinante como influenciador na quantidade de artigos publicados, uma vez que, os estudos realizados em complexos eólicos em operação no Rio Grande do Sul são mais numerosos, enquanto as usinas eólicas na região Nordeste, apesar de mais abundante e com maior capacidade de geração elétrica, são mais recentes e coincidem com a baixa incidência de estudos divulgados realizados nesses parques.

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro e um dos biomas menos protegidos do Brasil, com menos de 10% das áreas legalmente protegidas, das quais menos de 2% é estritamente protegida (NERI *et al.*, 2019). Ainda assim, é um dos biomas de floresta seca mais ricos da América Latina apresentando

altos níveis de endemismos (LEAL, 2005). Sua fauna é composta por aproximadamente 1.307 espécies animais, dentre as quais 327 são exclusivas do bioma (INSA, [s.d.]; WWF-BRASIL, [s.d.]). Atualmente, 11 milhões de hectares da Caatinga, apresentam alta relevância para conservação da biodiversidade e coincidem com áreas potenciais para expansão das atividades eólicas no país (NERI *et al.*, 2019). Nesse sentido, conciliar o uso e expansão da energia eólica com a conservação da Caatinga possui extrema importância, pois, apesar da energia eólica ser uma “energia limpa” devido as baixas emissões de gases de efeito estufa, ainda assim, causa impactos adversos à flora e a fauna (WANG *et al.*, 2015).

Apesar da Caatinga ser identificada como um importante centro de endemismo de aves na América do Sul, o conhecimento sobre sua avifauna ainda é reduzido. O número de espécies de aves da Caatinga costuma ser bem variável, os quais estudos estimam números que variam entre 510 espécies (SILVA *et al.*, 2003) a 548 espécies (ARAUJO & SILVA, 2017). Essa alta diversidade de aves corresponde a aproximadamente 1/4 do total das espécies de aves brasileiras (SILVA *et al.*, 2003; ARAUJO & SILVA, 2017). Além disso, sobre a biologia da maioria das espécies de caatinga, bem como a ecologia e estruturação das comunidades é desconhecida (CRACRAFT, 1985). Igualmente a quiropterofauna apresenta uma riqueza até então de 90 espécies, podendo esta ser ainda maior (CARVALHO-NETO *et al.*, 2017).

Estudos realizados em complexos eólicos podem trazer dados importantes para a preservação da biodiversidade e entendimento da dinâmica da fauna alada e aerogeradores. Uma forma de ampliar esse conhecimento é a maior disponibilização de dados coletados para relatórios relacionados as obrigatoriedades do licenciamento ambiental que contribuiria amplamente com a pesquisa e divulgação científica, proposta pelas instituições de ensino superior.

O estudo de Falavigna (2017) é um exemplo de como as informações podem ser utilizadas, uma vez que os dados referentes à avifauna do parque de Osório entregues ao órgão ambiental do estado (FEPAM) foram utilizados para elaboração de uma lista de espécies ocorrentes que foram a órbita na área do complexo eólico. Assim, a identificação e quantificação do risco de colisão entre aves em aerogeradores no complexo eólico Osório (RS) foi divulgada e seguiu acessível para futuros modelos e comparações.

Outro exemplo é o estudo de Amaral (2020), que realizou um monitoramento de órbitas de morcegos por aerogeradores no Parque Eólico Geribatu (RS). Assim, abordagens como essas podem e devem ser feitas em outros complexos eólicos, tendo em vista o contexto da alta no número de complexos eólicos, em especial nos parques nordestinos, que são os mais numerosos, líderes em produção. Dessa forma, pesquisas feitas na área de influência, podem auxiliar a identificar lacunas no conhecimento acerca da fauna alada e contribuir para a preservação das espécies e melhor gestão desses parques eólicos.

O estudo de Barros (2019) avaliou a qualidade do que é requisitado para o licenciamento ambiental de parques eólicos, considerando o impacto sobre morcegos em 13 Estados brasileiros. Foi identificado que, por mais que ainda existam algumas ressalvas acerca da eficácia, robustez e padronização do que é solicitado pelos órgãos licenciadores, as empresas consultoras coletam dados importantes e fundamentais sobre as espécies da quiropterofauna, tendo em vista o que é requisitado para o licenciamento de empreendimentos eólicos (e.g. riqueza, abundância, composição de espécies e número de espécies em listas vermelhas da fauna ameaçada de extinção).

Essas informações como, amostragem das espécies ocorrentes na área de influência, riqueza, abundância, composição de espécies e outras informações relevantes como hábitos alimentares, sítios de deslocamento e nidificação, são fundamentais para composição de estudos científicos que poderiam ser divulgados, mostrando a importância de uma parceria empreendedor/consultoras e a produtores e disseminadores de conhecimento científico.

Conforme o exposto por Enrico Bernard (2014), parcerias entre Empreendedor X IES é produtiva, tendo em vista que estudos feitos por essas entidades de ensino, podem identificar os pontos fracos dos processos de licenciamento, auxiliando as consultorias a realizar um trabalho mais eficiente, minimizando os impactos que um empreendimento eólico pode acarretar à fauna alada

Assim como o estudo de Bernard (2014), o trabalho de Neri (2019) identifica conflitos para a conservação de morcegos, algo que é de interesse mútuo entre as partes. Pesquisas como essas são fundamentais

para um desenvolvimento sustentável de empreendimentos eólicos, pois identificam situações prejudiciais à fauna e que podem ser negativas também para os interesses econômicos dos empreendedores, uma vez que conflitos locais trazem, além dos impactos ambientais na biodiversidade e comunidades na área de influência, uma visibilidade negativa para o empreendimento.

Fortalecer a interação entre empreendedores, entidades governamentais e comunidade científica, visando impulsionar oportunidades para a condução e divulgação de pesquisas, é uma medida a ser tomada. O número de pesquisadores atuando no tema da energia eólica no Brasil, contudo, ainda é pequeno, apesar de crescente. Este conhecimento, em sua maioria, é criado por pesquisadores dentro das universidades brasileiras. A parceria entre os produtores de conhecimento científico com os gestores de empreendimentos eólicos é uma solução para fomentar o aumento na produção de conteúdo científico voltado à interação do meio ambiente com os complexos eólicos.

A participação do setor privado tem ganhado destaque, à medida que um número crescente de empresas e fundos de investimento declara que suas estratégias estão focadas em boas práticas ambientais, sociais e de governança (ESG) (CEPAL, 2023). Nos EUA, 72% dos investidores institucionais destacam as práticas ESG em seus planos de investimentos, de acordo com pesquisa realizada pelo banco NATIXIS em 2020 (POLLMAN 2022).

Empresas com um menor envolvimento com questões ambientais, sociais e de governança teriam um prêmio de risco mais elevado em relação às empresas que possuem práticas mais sustentáveis (CEPAL, 2023). Assim, o custo de financiamento no mercado de capitais é influenciado pelo comprometimento das empresas com a ESG.

Parceiras com IES, e facilitação ao acesso nas políticas de confidencialidade, possibilita um aumento na divulgação de produções científicas voltadas para parques eólicos, e coloca o empreendimento em sintonia com boas práticas internacionais e indicadores de ESG. Um exemplo são os Princípios do Equador, que se trata de um conjunto de critérios socioambientais adotados por instituições financeiras globalmente, visando gerenciar riscos em operações de financiamento de projetos. Dentre os 10 princípios, dois deles visam uma colaboração entre empreendedor e a comunidade científica.

O Princípio 4 (Sistema de Gestão Ambiental e Social), ao abordar necessárias para a adoção de medidas mitigatórias, essa parceria estabelece mecanismos de identificação, priorização e gerenciamento dos riscos ambientais do Projeto, bem como monitorar as ações para conformidade com os padrões aplicáveis; e Princípio 10 (Divulgação de Informações e Transparência): Ao prever ao prever a divulgação das informações relacionadas ao empreendimento por meio da Consulta Livre, plataforma do órgão ambiental fiscalizador, bem como no site do empreendedor serão influenciadas na parceria do empreendimento com as IES que realizam disseminação de conteúdo científico.

Outro indicador é o atendimento aos Padrões de Desempenho do International Finance Corporation (IFC), que consistem em oito Padrões de Desempenho estabelecidos de normas que o empreendedor deve cumprir durante toda a duração da operação financeira elencada aos Princípios do Equador. A relação com IES engloba especialmente o padrão de desempenho 6 (Preservação da Biodiversidade e Gerenciamento Sustentável de Recursos Naturais), haja vista o estímulo na produção de trabalhos científicos voltados para proteção e conservação da biodiversidade, manutenção dos serviços ecossistêmicos e gestão dos recursos naturais vivos, que por sua vez são substanciais para o desenvolvimento sustentável.

A partir dessas medidas o empreendedor entra em sintonia com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS da Organização das Nações Unidas - ONU, em especial a 15 (Vida Terrestre), assegurando através dessas parcerias, a conservação de espécies de fauna alada, executando um empreendimento com melhor reputação no mercado e ambientalmente legal, o que no mundo atual se faz cada vez mais fundamental para captação de investimentos (CEPAL, 2023).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diversas análises já realizadas em áreas próximas ou cenários semelhantes podem direcionar melhor o estudo de viabilidade ambiental e auxiliar num diagnóstico preciso da fauna em empreendimentos eólicos. Assim, uma vez que o acesso a dados secundários nacionais esteja disponibilizado, o tempo de licenciamento pode ser reduzido, bem como o planejamento de novos projetos facilitado. Nesse sentido tanto os riscos de licenciamento quanto os impactos negativos sobre a fauna alada seriam minimizados.

Muitos empreendimentos eólicos estão sofrendo denúncias e investigações de licenciamento irregular, uma vez que muitos entram em operação antes mesmo de finalizar o levantamento da avifauna e quiropteroфаuna (SOVERNIGO, 2009). Além disso, existe também uma carência de pesquisadores e profissionais qualificados voltados a temática, e isso decorre do descompasso entre as velocidades de crescimento do mercado eólico e de investimentos e interesse para a formação de recursos humanos voltados a divulgação científica.

Considerando o expressivo potencial de geração de energia eólica no país, é de extrema importância que o conhecimento científico a partir dos dados coletados nas diversas fases dos empreendimentos seja incentivado e gerado assegurando assim que novas soluções e ações de mitigação sejam desenvolvidas em prol da conservação da biodiversidade.

É possível observar que os estudos de monitoramentos de fauna alada realizados pelo licenciamento nestes empreendimentos podem fornecer dados consistentes e elucidativos para compreensão da ecologia desse grupo faunístico em relação ao uso do habitat da região, contribuindo para o conhecimento e conservação da biodiversidade local.

A partir do exposto no presente trabalho, é possível considerar que não há déficit de dados coletados relacionados à interação de fauna alada e empreendimentos eólicos no Brasil, mas sim uma falta de incentivo à divulgação de dados existentes e colaboração entre empreendedores e a comunidade científica para execução de projetos de pesquisa. A divulgação dos dados deveria ser em âmbito sistemático e de fácil acesso, tanto como dados brutos, quanto em forma de publicação científica e popularizada, fomentando a produção de estudos voltados às interações da fauna alada e os complexos eólicos.

REFERÊNCIAS

AMARANTE, O.A.C.; BROWER, M.; ZACK, J.; SÁ, A.L. Atlas do potencial eólico brasileiro. 2001. Brasília 2001.

ANEEL. Programa de Incentivo às Fontes Alternativas - PROINFA. Disponível em <https://www.aneel.gov.br/proinfa> Acesso 29 de julho de 2021.

ARAUJO, Helder Farias Pereira; SILVA, José Maria Cardoso da. The avifauna of the Caatinga: biogeography, ecology, and conservation. **Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America**, p. 181-210, 2017.

ARNETT, E. B. *et al.* A synthesis of operational mitigation studies to reduce bat fatalities at wind energy facilities in North America. A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. Texas, USA, **Bat Conservation International**, 2013.

ARNETT, Edward B. *et al.* Patterns of bat fatalities at wind energy facilities in North America. **The Journal of Wildlife Management**, v. 72, n. 1, p. 61-78, 2008.

BAERWALD, E. F. *et al.* Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. **Current Biology**, v. 18, n. 16, p. R695–R696, ago. 2008.

BARBOSA FILHO, W.P. **Impactos Ambientais em Usinas Eólicas**. AGRENER, GD. Itajubá –MG, 2013.

BARROS, M. A. S. DE. Interações entre morcegos e turbinas eólicas no Agreste do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil.

BERNARD, Enrico; TAVARES, Valéria da Cunha; SAMPAIO, Erica. Compilação atualizada das espécies de morcegos (Chiroptera) para a Amazônia Brasileira. **Biota neotropica**, v. 11, p. 35-46, 2011.

CARRETE M., SANCHEZ-ZAPATA J.A., BENITEZ J.R., LOBON M., DONAZAR J.A. 2009 Large scale risk-assessment of wind-farms on population viability of a globally endangered long-lived raptor. *Biol. Conserv.* 142, 2954–2961.

CARVALHO-NETO, Francisco Geraldo *et al.* The heterogeneity of Caatinga biome: an overview of the bat fauna. **Mammalia**, v. 81, n. 3, p. 257-264, 2017.

CEPAL, N.; BRASIL (FES-BRASIL), F. F. E. Financiando o Big Push: caminhos para destravar a transição social e ecológica no Brasil. **repositorio.cepal.org**, 2 jun. 2023.

CRACRAFT, J. 1985. Historical biogeography and patterns of differentiation within the
CUNHA, Eduardo Argou Aires *et al.* Aspectos históricos da energia eólica no Brasil e no mundo. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 4, 2019.

Curiosidades sobre a Caatinga. WWF-Brasil, Disponível em www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/biomas/bioma_Caatinga/bioma_Caatinga_curiosidades/.

DAHL E.L., BEVANGER K., NYGARD T., ROSKIFT E., STOKKE B.G. 2012 Reduced breeding success in white-tailed eagles at Smola windfarm, western Norway, is caused by mortality and displacement. *Biol. Conserv.* 145, 79–85.

FAHRIG, L.; RYTWINSKI, T. Effects of roads on animal abundance: An empirical review and synth. **Ecology and Society**, v. 14, iss. 1, 20 pág. 2009.

FARFÁN, M. A. *et al.* What is the impact of wind farms on birds? A case study in southern Spain. **Biodiversity and Conservation**, v. 18, p. 3743-3758, 2009.

FORMAN, Richard TT; ALEXANDER, Lauren E. Roads and their major ecological effects. **Annual review of ecology and systematics**, v. 29, n. 1, p. 207-231, 1998.

FORMAN, Richard TT; DEBLINGER, Robert D. The ecological road-effect zone of a Massachusetts (USA) suburban highway. *Conservation biology*, v. 14, n. 1, p. 36-46, 2000.
Global Big Day - **eBird**. Disponível em: <<https://ebird.org/globalbigday>>.

HUTCHINSON, M.; ZHAO, F. GLOBAL WIND REPORT 2023. Brussels, Belgium: GWEC, 27 mar. 2023.

JOHNSON, Christopher N. *et al.*, Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene. **Science**, v. 356, n. 6335, p. 270-275, 2017.

ICMBio - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Relatório anual de rotas e áreas de concentração de aves migratórias no Brasil**. Cabedelo, PB. 2019.

LANTZ, Eric; HAND, M. Maureen; WISER, Ryan. Past and future cost of wind energy. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2012.

LEAL, Inara R. *et al.* Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 139-146, 2005.

LEUNG, Dennis YC; YANG, Yuan. Wind energy development and its environmental impact: A review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 16, n. 1, p. 1031-1039, 2012.

LOVICH, J. E.; ENNEN, J. R. Assessing the state of knowledge of utility-scale wind energy development and operation on non-volant terrestrial and marine wildlife. **Applied Energy**, v. 103, p. 52-60, 2013.

MAY, Roel *et al.* Paint it black: Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. **Ecology and evolution**, v. 10, n. 16, p. 8927-8935, 2020.

MARQUES, Ana Teresa *et al.* Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. **Biological Conservation**, v. 179, p. 40-52, 2014.

MOURA-FÉ, M.M.; PINHEIRO, M.V.A. Os parques eólicos na zona costeira do Ceará e os impactos ambientais associados. **Revista Geonorte**, V.9, N.1, p.22-41, 2013. (ISSN – 2237-1419).

NERI, Marlon *et al.* Green versus green? Adverting potential conflicts between wind power generation and biodiversity conservation in Brazil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 3, p. 131-135, 2019.

O Semiárido Brasileiro. Instituto Nacional do Semiárido –INSA. Disponível em: <<https://www.gov.br/insa/pt-br/semiario-brasileiro>>. Acesso em 30 jun. 2023.

PINTO, L. I. C.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 6, p. 1082, 23 nov. 2017.

POLLMAN, Elizabeth. The making and meaning of ESG. **U of Penn, Inst for Law & Econ Research Paper**, n. 22-23, 2022.

RAMPINELLI, G.A; ROSA JÚNIOR, C. G. Análise da Geração Eólica na Matriz Brasileira de Energia Elétrica. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v. 14, n 2. 2012

SAIDUR, R.; RAHIM, N. A.; ISLAM, M. R.; SOLANGI, K. H. Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15:2423-2430. 2011.

SCHUSTER E, BULLING L, KOËPPEL J. 2015 Consolidating the state of knowledge: a synoptical review of Wind energy' wildlife effects. *Environ. Manage.* 56, 300–331.

SILVA, José Maria Cardoso *et al.* Aves da Caatinga: status, uso do habitat e sensibilidade. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 237-274, 2003.

SOVERNIGO, M. H. Impacto dos Aerogeradores sobre a Avifauna e Quiropteroфаuna no Brasil. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

VERNER, J. Measuring responses of avian communities to habitat manipulation. **Studies in Avian Biology**, v. 6, p. 543-547. 1981.

VOIGT C.C., POPA-LISSEANU A.G., NIERMANN I., KRAMER- SCHADT S. 2012 The catchment area of wind farms for European bats: a plea for international regulations. *Biol. Conserv.* 153, 80–86. Washington, 36: 49-84.

WIENS, J. A. The ecology of bird communities. Cambridge: **Cambridge University Press**, 1989.

WANG, SHIFENG; WANG, SICONG. IMPACTS OF WIND ENERGY ON ENVIRONMENT: A REVIEW. **RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, V. 49, P. 437-443, 2015.

CONSIDERAÇÕES SOBRE O CLIMA DE ONDAS NA COSTA BRASILEIRA PARA O PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE PARQUES EÓLICOS OFFSHORE

Claudio F. Neves¹ , Ricardo C. Guimarães² , Laura Aguilera³

1,2 Programa de Engenharia Oceânica, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

3 WavEC Offshore Renewables, Portugal

1 neves@oceanica.ufRJ.br 2 ricardoguimaraes@oceanica.ufRJ.br 3 laura.aguilera@wavec.org

RESUMO

O projeto de aerogeradores em parques eólicos offshore exige o conhecimento do clima de ondas na região para o correto dimensionamento das estruturas. O artigo aborda a interação das ondas com o parque como um todo, considerando um conjunto de monopilares. A múltipla difração das ondas e suas respectivas interações produzem um efeito adicional, gerando ondas de baixa frequência, que podem interferir no processo de construção e de operação do parque eólico. Além disso, a presença do parque irá influenciar a forma como as ondas atingirão a linha de costa, não importando a que distância estejam posicionados. Este efeito não é devidamente considerado atualmente no processo de licenciamento dos parques offshore. Algumas observações *in situ* e relatos sugerem efeitos sobre o transporte de sedimentos associado às ondas e à interação turbulenta entre as correntes oceânicas e as estruturas de suporte aos aerogeradores. O artigo conclui com algumas considerações sobre mudança do clima e possíveis orientações para o projeto de parques eólicos offshore no Brasil.

Palavras-chaves:

Interação Ondas-Monopilares; Transmissão de ondas; Espalhamento de ondas; Impactos costeiros.

ABSTRACT

Knowledge about the local wave climate is needed for the design of all individual structures within an offshore wind farm. The manuscript calls attention to the interaction of a wave field with the entire farm, considering the interaction between incident waves and the diffracted/scattered waves by individual monopiles. The complex pattern, which results from the multiple wave-wave interactions with the ensemble of monopiles, generates low frequency waves which may interfere with the construction and the operation of the wind farm. Further, as the waves pass through the structures, an undesired effect may reach the coast, regardless how distant the farm is from the shoreline. Results show evidence of sediment transport associated to the waves and to the turbulent interaction between current and the structures. The discussion concludes with remarks about climate changes and a few guidelines for the design of offshore wind farms in Brazil.

Keywords:

Wave-Monopiles interaction; Wave transmission; Wave scattering; Coastal impacts

1. INTRODUÇÃO

A Universidade Federal de Pernambuco instalou em 1992 um projeto piloto para geração eólica de energia na Ilha de Fernando de Noronha, que funcionou até 2009, quando foi destruído por um raio. A exploração comercial ou industrial de energia eólica continental no Brasil possui dois marcos iniciais: em 1998, na Região Nordeste, no Estado do Ceará; e em 2006, na Região Sul, no Estado do Rio Grande do Sul, onde viria a ser instalado o maior parque eólico do Brasil até 2012. Posteriormente parques eólicos se expandiram para outros Estados da Região Nordeste. A zona costeira foi privilegiada com as primeiras instalações, considerando que os ventos seriam tão mais favoráveis, quanto mais perto do mar os aerogeradores se posicionassem. Eventualmente, alguns parques se situaram demasiadamente próximos ao mar.

A instalação de parques eólicos na zona costeira coloca, porém, alguns desafios bastante específicos, que em geral não existem em parques continentais mais interiorizados. No caso do Ceará, os parques eólicos de Taíba e de Canoa Quebrada foram pioneiros ao serem instalados em campos de dunas. A mobilidade das dunas representava um desafio importante, pois exigia a limpeza das estradas de acesso às torres. A presença de sedimentos finos em suspensão no ar provoca abrasão nas pás; além disso, a maresia combinada com chuvas esparsas seguida de sol, faz com que os sedimentos finos fixem uma fina crosta na superfície das pás dos rotores, influenciando o seu desempenho. Insetos que se chocam com as pás provocam um efeito cumulativo associado à fixação de grãos de areia nas pás, o que exige limpeza de manutenção mais recorrente. A maresia também provoca a corrosão das torres, exigindo proteção especial. Como exemplos de parques eólicos costeiros, citam-se aqueles nos Lençóis Maranhenses, no delta do Parnaíba, ao longo do litoral cearense, no litoral setentrional potiguar, na embocadura do rio Paraíba do Sul na costa norte-fluminense, e na planície costeira nordeste gaúcha, na região de Osório.

Na Região Nordeste, a segunda geração de parques eólicos foi gradualmente interiorizada, sendo instalados em sítios mais elevados. Hoje pode-se dizer que exista uma terceira geração, com aerogeradores mais potentes, rotores maiores, em grandes extensões de terrenos localizados especialmente no bordo das chapadas e serras (e.g., Araripe, Ibiapaba, Borborema, Caetité) nos Estados de Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba e Bahia.

A quarta geração dos parques eólicos no Brasil será a instalação offshore (Figura 1). Tal decisão se justifica tecnicamente pela constância de ventos, especialmente dos ventos alísios na região equatorial, e pela maior intensidade dos ventos ao largo dos continentes. À parte das condições ambientais, porém, existe um diferencial favorável no caso brasileiro, que é a base, o conhecimento e a experiência sólida da engenharia, da geologia e da oceanografia brasileira, adquiridas ao longo de cinco décadas de exploração de petróleo no mar. Seja no caso das primeiras plataformas de petróleo, em águas com profundidade da ordem de 100 m e apoiadas no fundo do mar, seja nas situações mais recentes da exploração do pré-sal em profundidades da ordem de 1.000 m, com fixação do tipo *tension leg* ou estaiadas, a exploração eólica offshore se beneficiará dos conhecimentos e técnicas básicas de sondagens, da construção das fundações, da descrição oceanográfica, do dimensionamento estrutural, que possuem alguma semelhança com as técnicas já desenvolvidas para a exploração de petróleo e gás no mar. No entanto, a instalação de monopilares ou de aerogeradores flutuantes apresenta outros desafios construtivos, especialmente no que se refere à instalação das nacelles e montagem dos rotores em alturas da ordem de 100 m em mar aberto, na presença combinada de ondas, correntes e ventos.

A transferência da energia elétrica para terra e a instalação de uma rede de cabos sobre o fundo marinho em profundidades entre 20 e 50 m precisa levar em conta aspectos sedimentológicos, tais como a mobilidade dos sedimentos de fundo sob ação de ondas e correntes, a sazonalidade das condições oceanográficas e a evolução morfodinâmica da linha de costa e do fundo, muito intensa ao longo da costa Nordeste do Brasil. Tais características ambientais impõem condicionantes para o dimensionamento estrutural, assim como para as atividades de manutenção e operação corrente.

Parques marinhos necessitam também de instalações em terra para a fabricação, estocagem e embarque, em portos especializados, das torres e dos rotores. A localização desses portos de apoio, que servem tanto para a fase construtiva quanto para a fase de operação e serviços de manutenção, precisa seguir aspectos técnicos de engenharia costeira. No caso da Região Nordeste onde o transporte litorâneo de sedimentos por ações de ondas é bastante intenso, da ordem de 10^6 m³/ano, a linha costeira sofre grandes variações, da ordem de 100 m, em escala de tempo de 10 anos (VALENTINI 1994; TEIXEIRA et al. 2019).



Figura 1: Locais de possíveis parques eólicos marinhos com registro no IBAMA. (Fonte: IBAMA)

O principal agente dinâmico marinho na zona costeira é a onda. Portanto, é fundamental para a indústria de geração eólica de energia uma correta caracterização do padrão de ondas. Quão mais energéticas forem as ondas, mais significativas também serão as alterações morfológicas naturais do fundo marinho e da linha de costa (aonde chegam os cabos de conexão entre as instalações em terra e os aerogeradores). Tendo em vista a extensão em planta dos parques eólicos, podem existir diferenças de magnitude das alturas de ondas e da direção de incidência, em decorrência da variação de profundidade e da presença de correntes marinhas (e.g., circulação oceânica de plataforma, correntes de maré).

Evidentemente, os projetos das diversas estruturas (monopilares, instalações auxiliares, fundações) também serão determinados pelas características do clima de ondas (altura, período e direção) e da intensidade das correntes. A combinação dessas forças hidrodinâmicas, da ação do vento e dos movimentos induzidos pelo rotor em operação gera esforços dinâmicos que são transmitidos às fundações. As características do solo marinho, numa faixa de 50 a 100 m, precisam ser estudadas cuidadosamente, considerando que os locais indicados na Figura 1 foram selecionados com base em condições eólicas apenas, mas uma análise preliminar sob o ponto de vista geológico vai indicar que são pontos próximos a estuários afogados (Parnaíba, Jaguaribe, Paraíba do Sul, embocadura da Lagoa dos Patos).

Finalmente, quando um trem de ondas atravessa um parque eólico, ele sofre mudanças na medida em que as ondas são difratadas e interagem entre si. Por um princípio básico de Mecânica, se as ondas provocam forças sobre um monopilar, este também provocará uma força sobre a onda incidente, alterando o transporte de quantidade de movimento. Se esta ação individual de um monopilar sobre a onda for integrada em todo o campo, haverá certamente uma considerável influência do conjunto no transporte de quantidade de movimento transportado pelas ondas. Logo, haverá uma variação na quantidade de movimento (e na energia) presente no campo de ondas que, na ausência do parque eólico, atingiria a zona de arrebatamento na praia. Este efeito sobre a costa foi bem identificado em grandes instalações ao largo de mecanismos para geração de energia a partir das ondas (e.g. PALHA *et al.* 2010; RUSU e GUEDES SOARES 2013; GONZALEZ-SANTAMARIA *et al.* 2015). A linha de costa respondeu lentamente à mudança da incidência de energia, provocando erosões e acréscimos indesejáveis em pontos localizados.

2. A DISTRIBUIÇÃO DA ENERGIA DAS ONDAS AO LONGO DA COSTA BRASILEIRA

A costa brasileira se estende ao longo de aproximadamente 8.500 km, abrangendo 37 graus de latitude, com exposição às condições de mar em seis segmentos distintos. Uma subdivisão detalhada da costa brasileira em termos de exposição a diferentes estados de mar e a características morfodinâmicas do litoral é apresentada por Muehe *et al.* (2020), a qual serviu de subsídio para a subdivisão mostrada na Figura 2, adotada no presente trabalho.

O primeiro segmento (I) corresponde à região da foz do rio Amazonas, abrange a costa dos Estados do Amapá e Pará. Devido à pequena pista de vento, à influência da descarga do rio Amazonas, ao fundo lamoso e à largura da plataforma continental, as ondas observadas e previstas pelos modelos numéricos possuem baixa altura. A linha de costa é caracterizada por manguezais e rias.

O segundo segmento (II), se estende da baía de São Marcos, no Estado do Maranhão, ao Cabo Calcanhar, no Estado do Rio Grande do Norte; neste trecho, a linha de costa é exposta tanto às ondas geradas pelos ventos alísios (PIANCA *et al.* 2020) e às ondas produzidas pelas tempestades tropicais em baixas latitudes no Atlântico Norte, nos meses de maio a setembro (verão no Hemisfério Norte), quanto às ondas geradas pelas tempestades extratropicais em altas latitudes durante o inverno no Hemisfério Norte (MELO Fo *et al.* 1995). A linha de costa é bastante dinâmica, como pode ser avaliado através de imagens de satélite (e.g. TEIXEIRA *et al.*, 2021), quantificação do transporte de sedimentos por traçadores (e.g. BANDEIRA; SALIM, 1999) e quantificação a partir de estimativas de ondas (e.g. VALENTINI, 1994). Neste segmento, estão localizadas as áreas 01, 02 e 03 identificadas pelo IBAMA (Figura 1).

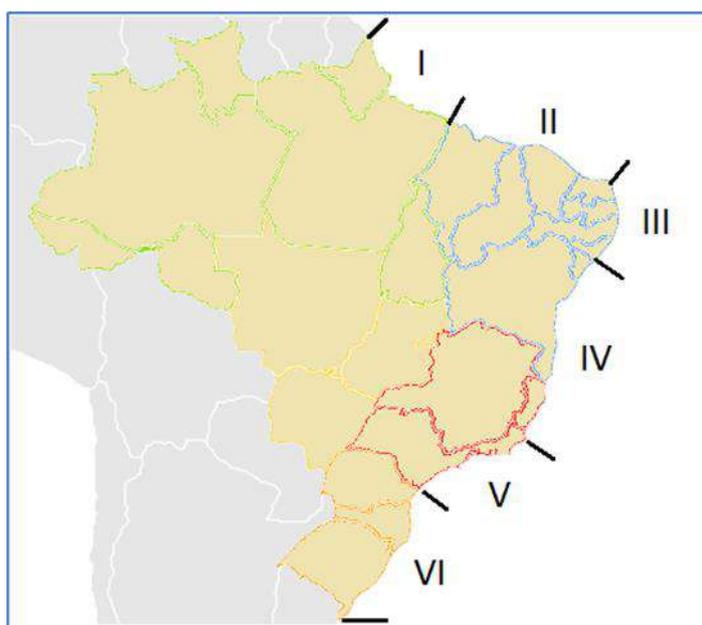


Figura 2: Segmentação da costa brasileira em relação a exposição a ondas e características morfodinâmicas. (Fonte: Autor)

O terceiro segmento (III) corresponde à região do Atlântico Equatorial, que vai do Rio Grande do Norte até Sergipe, onde a presença da Corrente do Brasil e do sistema da Corrente Equatorial influenciam a formação de ondas pelos ventos alísios e o clima de ondas na costa varia com a oscilação sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Este trecho é fortemente afetado por erosão da linha de costa (e.g., AMARO *et al.* 2015) e muito vulnerável à elevação do nível médio do mar como resultado da mudança climática, associado a registros de subsidência, fenômeno que pode estar associado a tectônica de placas ou ao bombeamento de água do subsolo (e.g. NEVES; MUEHE, 1995).

O quarto segmento (IV) vai da foz do rio São Francisco até o Cabo de São Tomé, no Estado do Rio de Janeiro, onde a linha de costa é exposta tanto a ondas de quadrante Nordeste, quanto a ondas de

quadrante Sudeste, as primeiras associadas à posição do Anticiclone do Atlântico Sul que oscila sazonalmente, e as segundas associadas aos Ciclones Extratropicais que se forma em torno de 40 graus de latitude Sul e se propagam até latitudes em torno de 10 graus Sul. Este segmento se caracteriza por estados de mar bicromáticos e bidirecionais, favorecendo a formação de ondas longas (ou de infragravidade) com períodos na faixa de 40 a 400 segundos (e.g., NOGUEIRA, 2014; PARENTE *et al.* 2015). Eventos de erosão costeira são relatados ao longo desse trecho de costa, muito influenciado por alterações no regime de vazões dos rios e de suas capacidades de transporte de sedimentos para o mar (e.g., BANDEIRA *et al.* 2013). Neste segmento, ao largo do Porto do Açú, imediatamente a Norte do Cabo de São Tomé, localiza-se a área 04 do IBAMA (Figura 1).

O quinto segmento (V) vai do Cabo de São Tomé até aproximadamente a região de Cananéia, São Paulo, onde a costa brasileira sofre uma inflexão, alinhando-se numa direção geral Sudeste-Nordeste, com um trecho Leste-Oeste a partir de Cabo Frio até aproximadamente a Ilha de São Sebastião, ficando exposta a ondas provenientes de direções desde Sudoeste até Este Sudeste. Este trecho de costa é caracterizado por ressacas nos meses de outono e inverno no Hemisfério Sul. O Cabo de São Tomé é uma formação arenosa, alimentada por sedimentos que vêm transportados pelas ondas na faixa de arrebentação a Sul do cabo e, para Norte do cabo, onde se situa o Porto do Açú, o cabo ora fornece sedimentos, ora recebe sedimentos, de acordo com a alternância do regime de ondas. Outros processos oceanográficos importantes associados à Corrente do Brasil acontecem nessa região, que reúne as duas principais bacias sedimentares para a produção de petróleo e gás no Brasil, a Bacia de Campos e a de Santos.

Finalmente, o sexto segmento (VI) abrange a Região Sul, entre a baía de Paranaguá e o Arroio Chuí, no extremo Sul do Estado do Rio Grande Sul. Este trecho é caracterizado por fortes ressacas nos meses de inverno no Hemisfério Sul, passagem frequente de ciclones extratropicais, ventos fortes sustentados de 100 km/h e rajadas de até 150 km/h, e grandes oscilações de temperatura (e.g. EVANS e BRAUN 2012). Variações de nível do mar denominadas marés meteorológicas, com amplitude da ordem de 1m a 2m, são frequentes de ocorrer nesse trecho de costa, trazendo impactos importantes sobre a zona costeira, como inundações e erosão de praias, além da ação de ondas sobre casas próximas à orla, estruturas portuárias, obras de proteção costeira e a operação da monobóia em Tramandaí (RS). A área 05 do IBAMA (Figura 1) situa-se neste segmento. Nesta região também aconteceu o primeiro furacão registrado na costa brasileira, próximo à Ilha de Santa Catarina, em 2004. Neves e Aguilera (2021) apresentam uma listagem de 17 ocorrências de tempestades subtropicais e tropicais entre 2004 e 2021, ocorridas no Atlântico Sul, na plataforma continental dos segmentos V e VI.

Guimarães (2020) analisou as distribuições de alturas significativas (H_s) e de períodos de pico espectral (T_p) ao longo de toda a Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do Brasil e área parcial do Oceano Atlântico Sul. Para esta área, o autor caracterizou a disponibilidade de energia das ondas (Figura 3), que é uma informação importante a ser considerada no dimensionamento das estruturas para geração de energia eólica, assim como no planejamento das operações de instalação dos aerogeradores. Nas Regiões Sul e Sudeste, correspondendo aos segmentos V e VI, são observadas as maiores alturas significativas, ultrapassando o valor médio de 2m de altura. Entre o cabo de São Tomé e o cabo Calcanhar, segmentos II e III, o valor médio de altura significativa situa-se na faixa entre 1,2 m e 1,6 m na área mais próxima à costa e entre 1,6 m e 1,8 m nas áreas ao largo. Os valores decrescem em direção a Norte e, na costa setentrional da Região Nordeste, ocorreriam os menores valores, embora, excepcionalmente, ondas de longo período atinjam este trecho da costa, o que é importante para fins de dimensionamento de estruturas.

As projeções de ondas para a costa brasileira, produzidas com modelos de reanálise apresentadas na literatura, restringem-se a uma área oceânica demasiadamente limitada em latitude e longitude. No caso do segmento litorâneo II, existe comprovadamente a incidência de ondas extremas durante o inverno no Hemisfério Norte (MELO F^o *et al.*, 1995; PAULA *et al.*, 2015), registradas no litoral do Ceará, onde vários empreendimentos registraram interesse de instalação (áreas 01, 02 e 03 do IBAMA, Figura 1). A Figura 4 indica as áreas oceânicas potenciais para geração de ondas que atinjam os portos de Pecém (segmento II) e de Rio Grande (segmento VI), lembrando que as ondas no mar (*i.e.*, ondas de vento, tsunamis) propagam-se ao longo de grandes círculos.

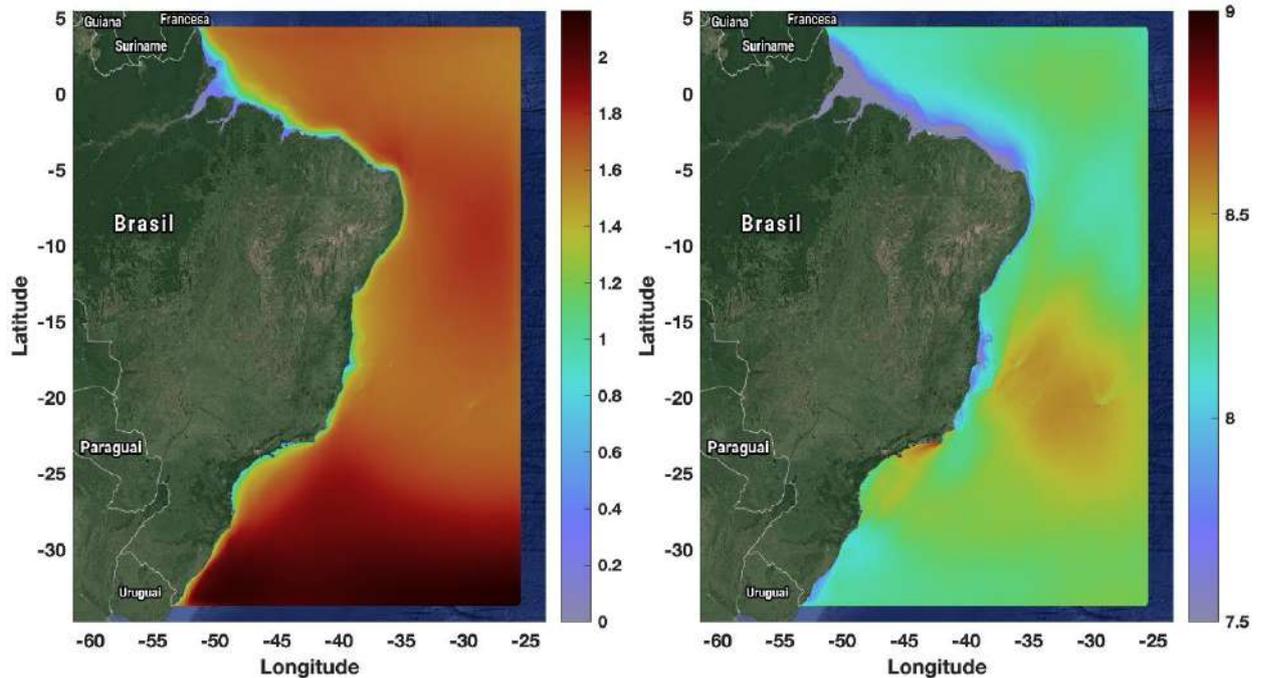


Figura 3: Clima de ondas na costa brasileira: à esquerda, altura significativa (escala de valores em metros); à direita, período de pico espectral (escala de valores em segundos). (Fonte: GUIMARÃES 2020)

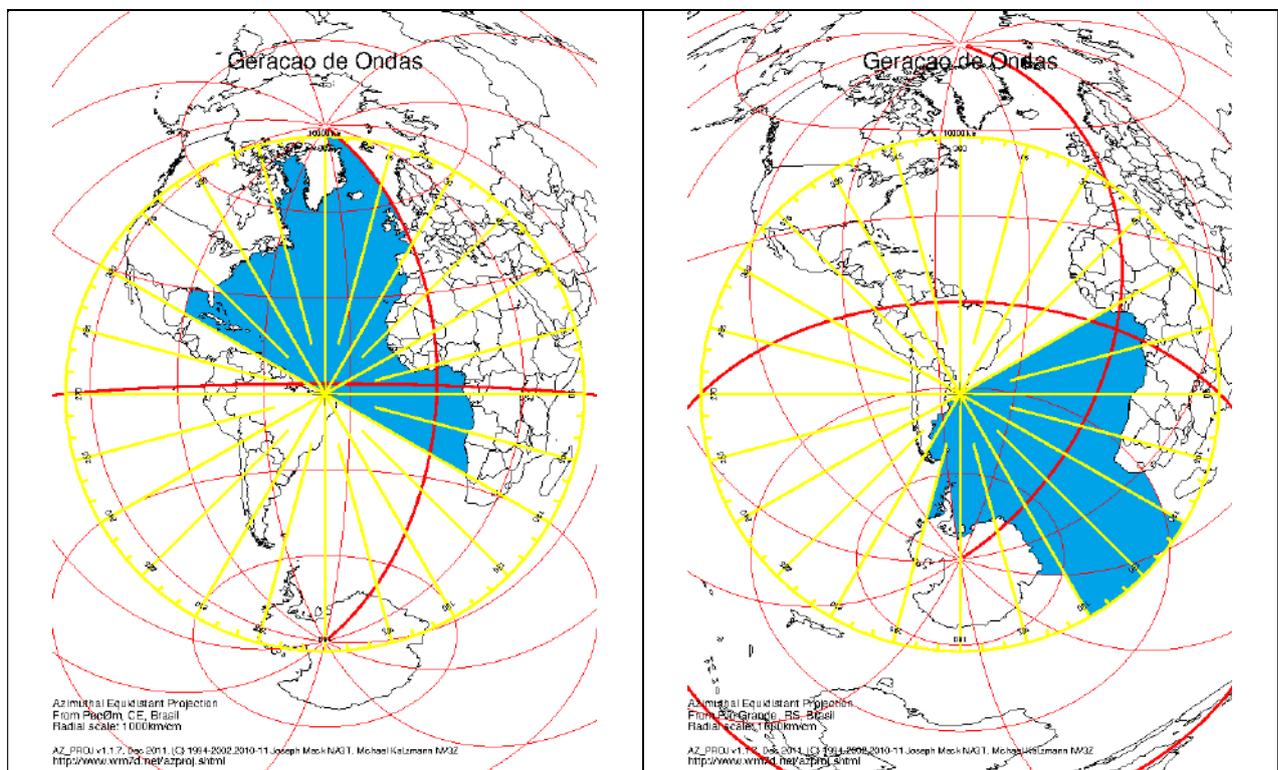


Figura 4: Áreas de geração de ondas: Porto do Pecém (esquerda); Porto de Rio Grande (direita). (Fonte: Autor; Great Circle Map Generator)

3. A INTERAÇÃO DE ONDAS, VENTOS E CORRENTES COM PAQUES EÓLICOS

O dimensionamento de estruturas para parques eólicos quanto às cargas hidrodinâmicas das ondas considera, em geral, apenas o efeito de uma onda monocromática caracterizada por sua altura significativa e período de pico (ou a ação de um espectro de ondas unidirecional). A estrutura pode ser um cilindro (monopilar) ou uma estrutura estaiada com forma mais complexa. Supõe-se também que o espaçamento entre aerogeradores isolados seja suficientemente grande para que uma estrutura não interfira com as demais, dentro de um mesmo parque eólico. Aguilera (2020) investigou a propagação de ondas monocromáticas através de arranjos de 4, 16, 25, 50 e 70 monopilares cilíndricos, cada qual com diâmetro de 10 m, espaçados de 300 m x 800 m, em profundidade de 10 m, utilizando o modelo WAMIT. Os períodos de onda variaram entre 6 e 14 s e foram investigadas diferentes direções de incidência das ondas. Aguilera, Rosman e Neves (2020) apresentaram detalhadamente a diferença que existe entre um cilindro isolado e quatro cilindros. Para um arranjo de 70 monopilares (14 x 5), a Figura 5 mostra a diferença que existe no padrão de alturas de ondas entre os monopilares no caso de ondas com 6 s e 14 s, questionando seriamente a hipótese de não interferência. Os resultados de Aguilera (2000) não corroboram as conclusões de McCombs *et al.* (2014), que utilizaram o modelo SWAN, e citam outros trabalhos que utilizam o mesmo modelo numérico para propagação de ondas. Observe-se, porém, que o SWAN é um modelo espectral, o qual, ao contrário do WAMIT, não tem resolução na fase da onda e, por este motivo, não considera os efeitos das possíveis interações onda-onda no interior do parque eólico.

A direção de incidência da onda se mostra importante no estudo da difração e como o campo de ondas percebe os obstáculos. O projetista, porém, define o espaçamento entre monopilares considerando apenas as características do campo do vento. Para um observador externo, que utiliza a superfície do oceano como referência, o parque teria um padrão geométrico regular. A eficiência energética estaria relacionada apenas à direção do vento, como mostra a Figura 6. No entanto, a direção das ondas varia ao longo do tempo, pois a ondulação (o *swell*) não está relacionada ao vento local. Três efeitos importantes devem ser observados. Em primeiro lugar, o espaçamento entre monopilares que é percebido pelas ondas depende da direção de incidência e do período da onda (Figura 7): o comprimento da onda varia com o quadrado do período da onda, portanto quanto maior o período, a distância entre monopilares torna-se menor, se medida em comprimentos de onda. Em segundo lugar, a difração ou o espalhamento das ondas pelas estruturas do parque eólico provoca padrões internos (Figura 6) que podem se combinar com os esforços induzidos pelo vento e com as oscilações naturais das estruturas. Efeitos de segunda ordem, relacionados à não linearidade das ondas de gravidade, precisam ser melhor investigados no caso de parques eólicos, apesar da distância entre as estruturas, conforme demonstrado em (AGUILERA, 2020). Em terceiro lugar, esforços cortantes e momentos sobre as fundações passam a variar no tempo e em orientação, gerando respostas diferenciadas do solo, que em geral não são consideradas em estudos geotécnicos básicos.

Uma situação mais complexa é a ocorrência de um estado de mar bicromático e bidirecional. Souza e Silva *et al.* (2022) descreveram algumas propriedades não lineares de segunda ordem relacionadas às interferências subtrativas entre duas ondas livres com frequências distintas. Tal condição é comum de acontecer no segmento IV (Estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo), onde existem registros para licenciamento no IBAMA. A interação gerará uma oscilação forçada com frequência igual à diferença entre as frequências das ondas livres; portanto seria possível a formação de ondulações na banda de infragravidade (de 0,004 Hz a 0,04 Hz).

Correntes de maré, ondas de plataforma ou correntes oceânicas no bordo da plataforma continental interagindo com as estruturas do parque eólico adicionariam um elemento novo ao estudo da estabilidade das estruturas e aos efeitos que poderiam acontecer dentro da área do parque. A Figura 8 mostra a pluma de sedimentos observada em imagens de satélite do London Array, mas o mesmo fenômeno foi observado em outras localidades (VANHELLEMONT; RUDDICK 2014; HASAGER *et al.* 2015). Em águas mais profundas, a presença de vórtices na Corrente do Brasil ou a ocorrência de ondas de plataforma, induziria necessariamente esforços e movimentos das estruturas dos aerogeradores. No caso dos Grandes Lagos americanos, McCombs *et al.* (2014) confirmaram a influência do parque eólico no padrão de correntes e circulação induzida por vento, indicando a necessidade de incluir a influência das correntes de marés.

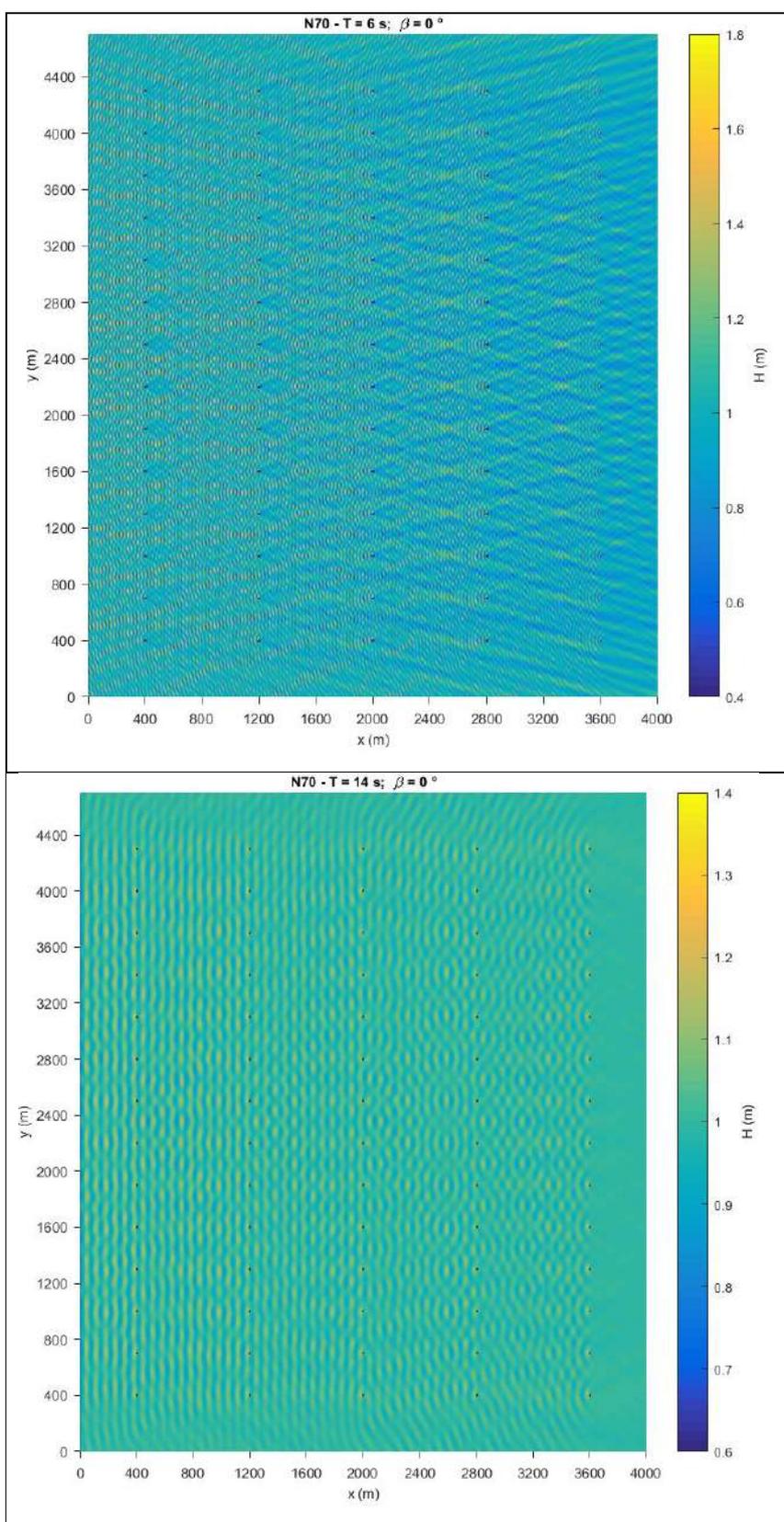


Figura 5: Variação da altura da onda no interior do parque eólico, 70 monopilares, onda com período de 6 s e de 14 s. (Fonte: Aguilera 2020)

Conclui-se, portanto, que o período das ondas é um parâmetro relevante para o dimensionamento das estruturas e das fundações, bem como para a avaliação de impactos ambientais. Ainda pouco considerados no sistema de licenciamento brasileiro destacam-se o solapamento do enrocamento de proteção a monopilares e a ressuspensão de sedimentos (CHRISTENSEN *et al.*, 2013; NIELSEN *et al.*, 2014; CHRISTENSEN *et al.* 2014). Problemas de fadiga de monopilares também são relatados na literatura, motivando a realização de estudos em modelo reduzido, onde as ondas são substituídas por acionadores de carga (e.g., KUO *et al.* 2012; SCHAFHIRT *et al.* 2016; RICHARDS *et al.* 2020). Os resultados dos modelos “unidirecionais” e “complexos” mostram-se diferentes, sugerindo a necessidade de investigações adicionais. Em geral os modelos utilizam areia seca, em diferentes graus de compactação, embora a literatura recomende a realização de ensaios com areia saturada e com outros tipos de materiais. As vibrações estão associadas às frequências e direções das ondas incidentes. No entanto, podem existir cargas cíclicas induzidas por ondas forçadas de segunda ordem em mares bicromáticos-bidirecionais (SOUZA E SILVA *et al.* 2022). Outro exemplo de cargas cíclicas são aquelas associadas ao descolamento de vórtices induzidos por correntes (por exemplo, corrente de maré, ondas de plataforma, vórtices isolados) à sombra do monopilar, gerando uma esteira hidrodinâmica. No caso das correntes de maré, há que se ter em mente que elas variam de direção ao longo das 24 horas do dia. Richards *et al.* (2020) enfatizam a necessidade de investigações mais detalhadas sobre cargas complexas, que eventualmente podem trazer consequências menos danosas para a estrutura do que cargas unidirecionais e monocromáticas.

O clima de ondas e regime atmosférico disponíveis atualmente podem auxiliar quanto a aspectos construtivos gerais. No entanto, modelos numéricos de previsão, mais robustos, com bom grau de confiabilidade dentro de uma janela de 72 horas devem ser executados, de modo a garantir a segurança do processo de implantação dos aerogeradores.

A revisão de estudos internacionais (e.g. WHITE & CASE LLP 2019) sobre licenciamento e avaliação de impactos ambientais de parques eólicos marinhos, contudo, mostra que insuficiente atenção foi dada à previsão da interação de ondas e correntes com os parques e seus efeitos distantes sobre a linha de costa.

4. CONCLUSÃO

O artigo levanta a necessidade de um detalhado estudo sobre as condições de ondas e de correntes nos locais onde for prevista a instalação de parques eólicos, além da determinação geotécnica detalhada do local onde o parque eólico vier a ser implantado, considerando que os locais propostos estão próximos a ambientes estuarinos atuais ou pretéritos.

Apresenta-se uma avaliação preliminar da altura e do período das ondas locais ao longo da costa brasileira, de modo que se possa caracterizar que, quanto maior a energia das ondas, mais robusta ou sofisticada deve ser a estrutura de suporte aos aerogeradores de um parque offshore. No entanto, observa-se que os locais selecionados na costa brasileira podem estar sujeitos a estados de mar transoceânicos, não considerados em previsões anteriores de clima de ondas na costa brasileira.

Dois aspectos são também levantados no artigo: a presença de estados de mar bicromáticos e bidirecionais e a presença (obrigatória) de correntes, que pode ser a maré astronômica, a Corrente do Brasil, vórtices associados à Corrente do Brasil ou ondas longas de plataforma. A combinação dos efeitos hidrodinâmicos com os efeitos aerodinâmicos e a própria oscilação das estruturas pode conduzir a situações que comprometam a integridade das estruturas durante a operação devido a cargas cíclicas. Quanto à própria instalação, seriam necessárias previsões meteo-oceanográficas detalhadas, em uma janela de tempo limitada.

Finalmente, conclui-se que um parque eólico influencia uma área muito maior do que a vizinhança de um aerogerador, devido à interação em bloco com o regime de ondas e de correntes, envolvendo inclusive aspectos sedimentológicos e impactos sobre a zona costeira.

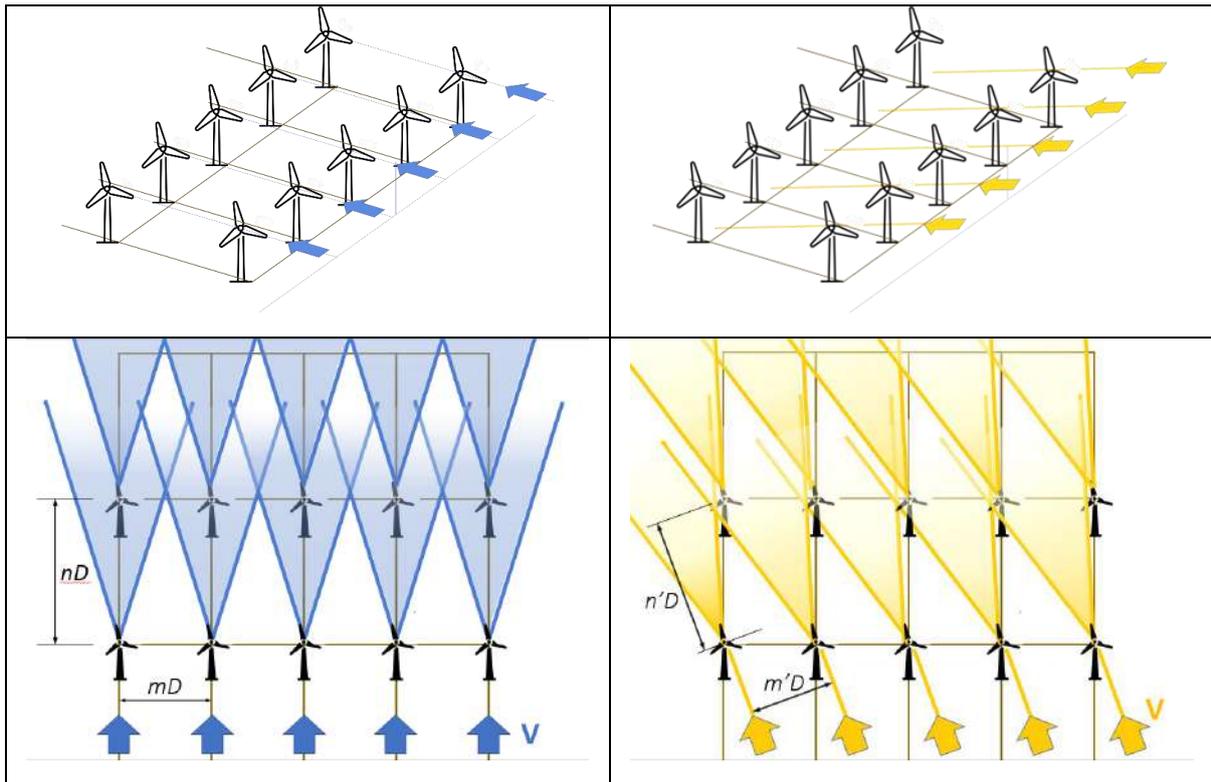


Figura 6: Influência da direção do vento na geração de energia: esteira aerodinâmica. (Fonte: Autor)

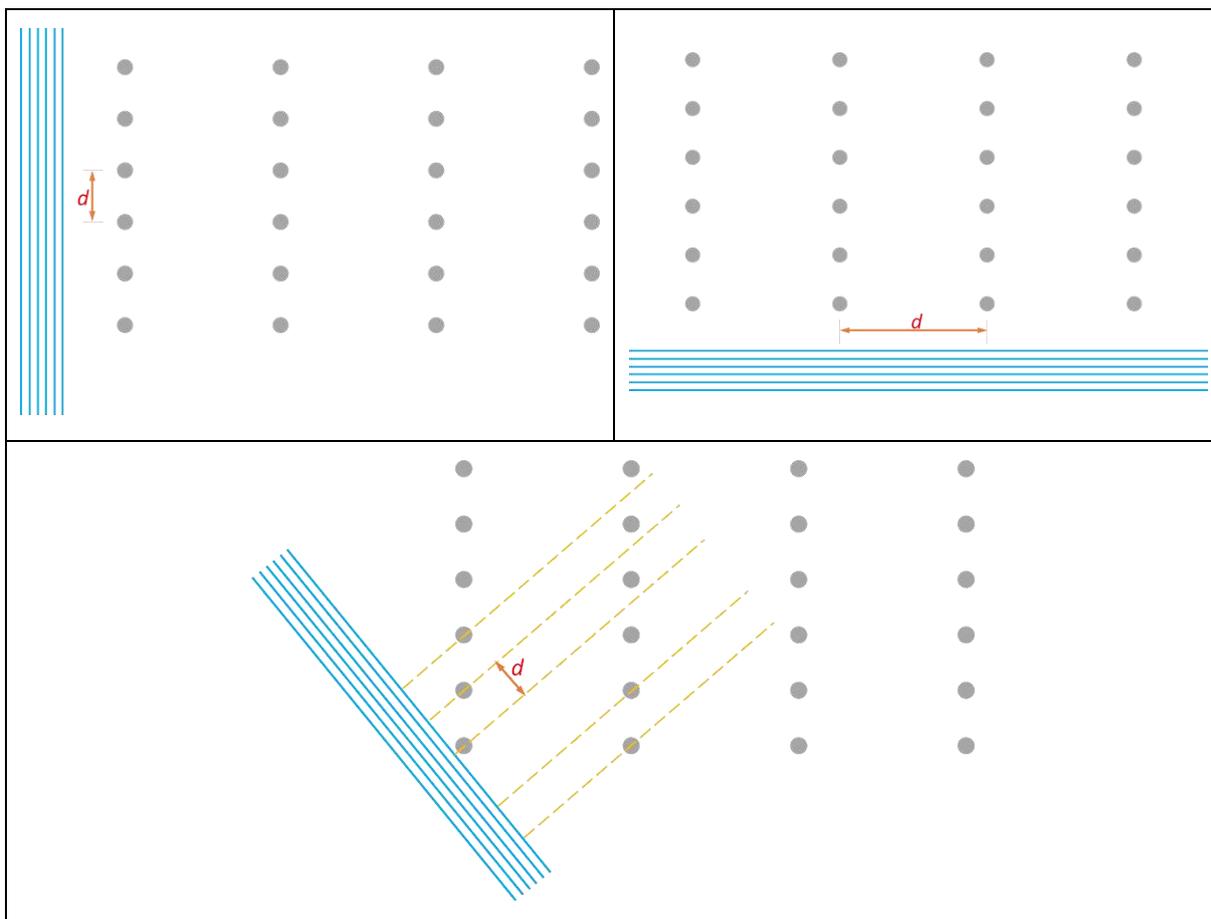


Figura 7: Incidência de onda em diferentes direções: espaçamento entre cilindros é percebido pelas ondas de modo diverso. (Fonte: Autor)



Figura 8-A: London Array visto do espaço.
(Fonte: Nasa Earth Observatory)

<https://earthobservatory.nasa.gov/images/82844/the-london-array>



Figura 8-B: Detalhe do retângulo amarelo em 2-A, indicando esteira de sedimentos causada por turbulência local em pequena escala.

Agradecimentos:

Esta investigação foi parcialmente financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Finance Code 001. Os autores agradecem também o suporte dado pelo Laboratório de Tecnologia Oceânica (LabOceano) da Universidade Federal do Rio de Janeiro para utilização do WAMIT® e pela Universidade Federal do Rio Grande no estudo sobre o clima de ondas na costa do Brasil.

REFERÊNCIAS

- AGUILERA J., L. (2020), *Interação de ondas com parques eólicos offshore de tipo monopilar*. Tese de Doutorado, Programa de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 227 p.
- AGUILERA, J., L.; ROSMAN, P.C.C.; NEVES, C.F. (2020), "Effects of an array of widely separated vertical cylinders on time-averaged properties of progressive monochromatic waves", *Rev. Bras. Recursos Hídricos*, 25. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190140>
- AMARO, V.E. *et al.* (2015), Multitemporal analysis of coastal erosion based on multisource satellite images, Ponta Negra Beach, Natal City, Northeastern Brazil. *Marine Geodesy*, 38:1–25, doi: 10.1080/01490419.2014.904257
- BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H. (1999), Ten years survey (1988-1997) of morphological changes in a coastline stretch of the Brazilian Northeast, and the consequences to coastal structures and installations of the petroleum industry. *Proceedings, V International Conference on Coastal & Port Engineering in Developing Countries*, 1999, Cape Town. v. 1. p. 426-437.
- BANDEIRA, J. V.; FARIAS, E. G. G.; LORENZZETTI, J. A.; SALIM, L. H. (2013). "Resposta morfológica do Rio São Francisco, devido à retenção de sedimentos nos reservatórios", *Vetor (FURG)*, 23, p. 5-17. <https://periodicos.furg.br/vetor/article/view/3687/>
- CHRISTENSEN, E.D.; JOHSON, M.; SØRENSEN, O.R. *et al.* (2013), "Transmission of wave energy through an offshore wind turbine farm", *Coastal Engineering*, v. 82, p. 25–46. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.08.004>
- CHRISTENSEN, E.D.; KRISTENSEN, S.E.; DEIGAARD, R. (2014), "Impact of an offshore wind farm on wave conditions and shoreline development", *Proceedings, International Conference on Coastal Engineering*, v. 1, n. 34, sediment.87. <https://doi.org/10.9753/icce.v34.sediment.87>
- EVANS, J.L.; BRAUN, A. (2012). A climatology of subtropical cyclones in South Atlantic. *Journal of Climate*, 25: 7328-7340. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00212.1>
- GONZALEZ-SANTAMARIA, R.; ZOU, Q.P.; PAN, S. (2015). "Impacts of a Wave Farm on Waves, Currents and Coastal Morphology in South West England", *Estuaries and Coasts*, 38 (Suppl 1): S159–S172, <https://doi.org/10.1007/s12237-013-9634-z>
- GUIMARÃES, R.C. (2021), *Perspectivas para a exploração de energia das ondas na costa brasileira: uma análise energética, logística e geográfica*. Dissertação de M.Sc., Programa de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande (FURG). <https://ppgeo.furg.br/dissertacoes-e-teses/66-publicacoes-de-2020/418-12841dissertacao-perspectivas-para-a-exploracao-da-energia-das-ondas-na-costa-brasileira-uma-analise-energetica-logistica-e-geografica-ricardo-cardoso-guimaraes>
- HASAGER, C.B.; RASMUSSEN, L.; PEÑA, A. *et al.* (2015), "Using satellite SAR to characterize the wind flow around offshore wind farms", *Energies*, v. 8, n. 6, p. 5413–5439. <https://doi.org/10.3390/en8065413>
- KUO, Y.-S.; ACHMUS, M.; ABDEL-RAHMAN, K. (2012). "Minimum Embedded Length of Cyclic Horizontally Loaded Monopiles." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138 (3): 357-363. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000602](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000602)

- McCOMBS, M.P.; MULLIGAN, R.P.; BOEGMAN, L. (2014), "Offshore wind farm impacts on surface waves and circulation in Eastern Lake Ontario", *Coastal Engineering*, v. 93, p. 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2014.08.001>
- MELO F^o, E.; ALVES, J. H. G. M.; JORDEN, V., ZAGO, F.; DIAS, W. S. S. (1995), "Instrumental confirmation of the arrival of North Atlantic swell to the Ceará coast". *Proceedings, 4th International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries – COPPEDEC IV*, Rio de Janeiro, Brazil, p. 1984-1996.
- MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F.M.; PINHEIRO, L.S., (2020). *Geografia marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos*. 1. ed. -- Rio de Janeiro. Acessado em 4 de julho de 2023. <https://drive.google.com/file/d/1kC53ZLBkJbR1HDJc0LyTdFBgNUYH7NCZ>
- NEVES, C.F.; MUEHE, D. (1995). Potential Impacts of Sea-Level Rise on the Metropolitan Region of Recife, Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 14, p. 116-131.
- NEVES, C.F.; AGUILERA, I. (2021). Contribuições de engenharia costeira ao projeto de parques eólicos offshore. *Anais. Brazil Wind Power 2021*. Acessado em 3 de julho de 2023. <https://www.brazilwindpower.com.br/content/dam/Informa/brazil-windpower/pt/2022/documentos/BWP-PAPERS-2021.pdf>
- NIELSEN, A.W.; SUMER, B.M.; PETERSEN, T.U. (2014), "Sinking of scour protections at Horns Rev 1 offshore wind farm", *Proceedings International Conference on Coastal Engineering*, v. 1, n. 34, sediment.67. <https://doi.org/10.9753/icce.v34.sediment.67>
- NOGUEIRA, I. C. M. (2014), *Caracterização do Clima de Ondas na Bacia do Espírito Santo através de Modelagem Numérica*, Dissertação de M.Sc., Programa de Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil. https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufrj-peno_upl/THESIS/6000203/2014_mestrando_izabel_christina_martins_nogueira_20200405123439984.pdf
- PALHA, A.; MENDES, L.; FORTES, C.J.; BRITO-MELO, A.; SARMENTO, A. (2010), "The impact of wave energy farms in the shoreline wave climate: Portuguese pilot zone case study using Pelamis energy wave devices." *Renewable Energy*, 35(1), 62-77. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.05.025>
- PARENTE, C. E.; NOGUEIRA, I. C. M.; MARTINS, R. P. *et al.* (2015), "Climatologia de Ondas", *In: Martins, R. P., Grossmann-Matheson, G. S., editores. Meteorologia e oceanografia*, Rio de Janeiro: Elsevier. Habitats, v. 2. pp. 55-96.
- PAULA, D. P.; MORAIS, J.O.; FERREIRA, Ó.; DIAS, J.A. (2015), "Análise histórica das ressacas do mar no litoral de Fortaleza (Ceará, Brasil): origem, características e impactos. *In: Davis Pereira de Paula e J. Alveirinho Dias (orgs.), Ressacas do Mar /Temporais e Gestão Costeira*, p.173-201, Editora Premium, Fortaleza, CE, Brasil. ISBN: 978-85-7924-440-7
- PIANCA, C.; MAZZINI, P. L. F.; SIEGLE, E. (2010). "Brazilian offshore wave climate based on WW3 reanalysis." *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(1):53-70
- RICHARDS, I.A.; BYRNE, B.W.; HOULSBY, G.T. (2020). "Monopile rotation under complex cyclic lateral loading in sand." *Géotechnique*, 70 (10): 916-930. <https://doi.org/10.1680/jgeot.18.P.302>
- RODRIGUEZ GANDARA, R.; HARRIS, J. (2012), "Nearshore wave damping due to effect of winds in response to offshore wind farms." *Proceedings, International Conference on Coastal Engineering*, v. 1, n. 33, p. 55. https://icce-ojs-tamu.tdl.org/icce/index.php/icce/article/view/6681/pdf_656
- RUSU, E.; GUEDES SOARES, C. (2013). "Coastal impact induced by a Pelamis wave farm operating in the Portuguese nearshore." *Renewable Energy*, 58: 34-49. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.03.001>
- SCHAFHIRT, S.; PAGE, A.; EIKSUND, G.R.; MUSKULUS, M., (2016). "Influence of soil parameters on the fatigue lifetime of offshore wind turbines with monopile support structure." *Energy Procedia*, 94: 347-356. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.194>

- SOUZA E SILVA, M.G.; KERPEN, N.; ROSMAN, P.C.C.; NEVES, C.F.; SCHLURMANN, T., (2022). "Directional infragravity waves induced by bichromatic and bidirectional waves: Theoretical approach and experimental affirmation". *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 148 (5) [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000711](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000711)
- TEIXEIRA, C.P.B.; SOUTO, M.V.S.; PINHEIRO, L.R.S.G.; MATOS, M.F.A.; GOMES, D.D.M. (2021), "Análise da evolução costeira no município de Beberibe, Estado do Ceará, entre os anos de 1979 a 2019". *Revista Geociências*, UNESP, <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i04.15874>
- VALENTINI, E.M.S. (1994), *Avaliação de Processos Litorâneos e Consequências para o Gerenciamento Costeiro no Ceará*. Tese de Doutorado, Programa de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 80p. https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufrj-peno_upl/THESIS/10002628/1994_doutorado_enise_maria_salgado_20220128093321653.pdf
- VANHELLEMONT, Q.; RUDDICK, K. (2014), "Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8", *Remote Sensing of Environment*, v. 145, p. 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.009>
- WHITE & CASE LLP (2019). Offshore wind projects: Assessing the environmental impact. <https://www.whitecase.com/publications/insight/offshore-wind-projects-assessing-environmental-impact> , Acessado em 8/12/2021.

Resíduo de Núcleo Estrutural de Pás Eólicas: do Aterro para a Reciclagem

Juliana de Almeida Yanaguizawa Lucena¹, Janaina Damares da Silva¹

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) – Campus Ipojuca
Rod. PE 60 Km 14, Califórnia, Ipojuca-PE, CEP; 55500-000

julianaalmeida@ipojuca.ifpe.edu.br, jds1@discente.ifpe.edu.br

RESUMO

O desenvolvimento da indústria eólica é uma peça chave para renovar a infraestrutura energética mundial. Este fato é verificado pelo aumento da capacidade eólica instalada globalmente a cada ano. O setor eólico *onshore* brasileiro já é bem desenvolvido e desde 2021 o país ocupa o sexto lugar entre os maiores do mundo em capacidade eólica instalada, sendo a maioria dos parques localizados na região Nordeste. Um projeto desenvolvido no Instituto Federal de Pernambuco tem constatado que uma fábrica de *kits* eólicos da região gera 28 toneladas por mês de refugo de núcleo estrutural de pás eólicas, cujo destino são os aterros sanitários. Mesmo sendo um resíduo classe-II, o volume mensal descartado chega a 155 mil litros (17 toneladas) de espuma de polietileno tereftalato (PET) e 73 mil litros de madeira de balsa (11 toneladas). Apesar de inerte, quando depositado em aterros, o PET pode levar aproximadamente 400 anos para se decompor. Nesse sentido, este trabalho objetivou estudar a viabilidade técnica de reciclagem deste resíduo por empresas em Pernambuco (de forma a minimizar os custos logísticos), utilizando três abordagens: (i) incorporação do resíduo PET em formulação de resina poliéster por uma fabricante de tintas; (ii) reprocessamento do resíduo por recicladoras de sucata para produção de plástico extrudado; (iii) moagem do resíduo para incorporação como carga em compósitos (blocos de concreto). Embora o PET pós-consumo de garrafas de bebidas seja bem conhecido no mercado de reciclagem plástica há décadas, o PET eólico neste estudo mostrou ser um material desconhecido para as recicladoras e de difícil reprocessamento, por sua baixa densidade (110 kg/m^3), o que dificulta sua utilização em reatores e extrusoras. No entanto, acredita-se que o resíduo de PET eólico seja valioso o suficiente para que os esforços de P&D continuem na busca de soluções atrativas financeiramente para seu reprocessamento, afinal a eólica é uma fonte limpa e renovável de energia e necessita da sustentabilidade em toda a cadeia produtiva do setor.

Palavras-chave:

Energia eólica; Aerogerador; Espuma de PET; Madeira de balsa; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Wind industry development is a key choice to renew the world's energy infrastructure. This fact is verified by the increase in global installed wind capacity each year. The Brazilian onshore wind sector is already well developed and since 2021 the country has ranked sixth in the world's top countries in installed wind capacity, with most parks located in the Northeast region. A project developed at the Federal Institute of Pernambuco has found that a wind kit factory in the region generates 28 tons per month of structural core waste for wind blades, whose destination is sanitary landfills. Even though it is a class-II production waste,

the monthly volume discarded reaches 155,000 liters (17 tons) of polyethylene terephthalate (PET) foam and 73,000 liters of balsa wood (11 tons). Although inert, when deposited in landfills, PET can take approximately 400 years to decompose. In this sense, this work aimed to study the technical feasibility of recycling this waste by companies in Pernambuco (in order to minimize logistical costs), using three approaches: (i) incorporation of PET waste in the formulation of polyester resin by a paint manufacturer; (ii) waste reprocessing by scrap recyclers to produce extruded plastic; (iii) milling the residue for incorporation as filler in composites (concrete blocks). Although post-consumer PET from beverage bottles has been well known in the plastic recycling market for decades, wind PET in this study proved to be an unknown material for recyclers and difficult to reprocess, due to its low density (110 kg/m^3), which hinders its use in reactors and extruders. However, it is believed that wind PET residue is valuable enough for R&D efforts to continue in the search for financially attractive solutions for its reprocessing, after all wind is a clean and renewable source of energy and requires sustainability in the entire productive chain in the sector.

Keywords:

Wind energy; Wind turbine; PET foam; Balsa wood; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

As energias renováveis para geração de eletricidade são os pilares fundamentais da transição energética para reduzir as emissões de carbono e o aquecimento global, que já vem provocando fenômenos climáticos importantes em todo o mundo [1-3].

A energia eólica é atualmente a segunda fonte de geração de eletricidade do Brasil, com mais de 13% de participação na matriz elétrica do país. São mais de 26 GW de capacidade eólica instalada (superior à capacidade da Usina Hidroelétrica de Itaipu) e a expectativa é que até o ano de 2029 ultrapasse 50 GW [4]. A energia eólica abastece cerca de 109 milhões de brasileiros e, em alguns períodos do ano, consegue suprir toda a demanda de eletricidade da região Nordeste, com sobra, durante um dia inteiro [5]. De fato, são mais de 916 usinas presentes em 12 estados do país, colocando o Brasil em 6º lugar no ranking mundial da geração eólica desde o ano de 2021 [4].

Uma turbina eólica comercial é um equipamento complexo que integra milhares de dispositivos e componentes para gerar energia a partir do vento. No estado de Pernambuco importantes fabricantes de componentes de aerogeradores estão concentrados no Complexo Industrial e Portuário de Suape, atendendo as demandas dos parques eólicos atuais e em construção principalmente na Bahia, Rio Grande do Norte e Ceará.

A madeira de balsa e a espuma de polietileno tereftalato (PET) são os materiais de núcleo estrutural mais utilizados como enchimento de pás de turbinas eólicas, por serem leves e com boa resistência mecânica.

Um projeto de extensão tecnológica desenvolvido no Instituto Federal de Pernambuco (Mulheres na Eólica) constatou que uma fábrica de kits eólicos localizada no Complexo Industrial e Portuário de Suape gera 28 toneladas por mês de resíduos de núcleo estrutural de pás eólicas, cujo destino são os aterros sanitários (resíduo classe II). São gerados 17 t/mês de resíduo de espuma de PET e 11 t/mês de madeira de balsa (Figura 1). Isso corresponde a um volume de 155 mil litros de espuma de PET e 73 mil litros de madeira de balsa.

A balsa, como toda madeira, é por definição um polímero natural. É encontrada em abundância na Floresta Amazônica, sendo o Equador o principal fornecedor para o setor eólico mundial. É um material leve (150 kg/m^3) e de boa resistência mecânica. Em alternativa ao descarte em aterros, a empresa em estudo busca doar este resíduo para cimenteiras, que utilizam a madeira de balsa como combustível para queima em seus fornos. Porém, estas cimenteiras estão localizadas no interior de Pernambuco ou na Paraíba, tornando altos os custos logísticos (frete) arcados pela geradora e, por este motivo, nem sempre a doação do resíduo de balsa é uma opção viável economicamente.

Figura 1. Resíduo de núcleo estrutural de pás eólicas gerados em uma fábrica de kits eólicos em Pernambuco: (a) Madeira de balsa (11 t/mês). (b) Espuma de polietileno tereftalato (PET) (17 t/mês).



Fonte: As autoras (2023).

A espuma de PET é um polímero sintético e termoplástico (que se funde com o calor), bem conhecido pela sua utilização em garrafas de bebidas. Não somente é reciclável, como também é o plástico mais reciclado em todo o mundo [6], porém de difícil biodegradação e por isso sua disposição final em aterros sanitários torna-se um problema.

De fato, os plásticos se tornaram uma ameaça ao meio ambiente devido à falta de tecnologias de reciclagem que poderiam, em vez do descarte em aterros, permitir a produção de resinas de alta qualidade a partir de sucata a um custo igual ou menor em comparação com a produção do polímero virgem a partir do petróleo bruto [7].

Sendo assim, este trabalho objetivou estudar a viabilidade técnica de reciclagem do resíduo de espuma de PET de uma fábrica de kits eólicos em Pernambuco, como alternativa ao seu descarte em aterro sanitário.

Três abordagens foram utilizadas no estudo do PET: (i) incorporação do resíduo em formulação de resina poliéster por uma fabricante de tintas; (ii) reprocessamento do resíduo por recicladoras de sucata

para produção de plástico extrudado; (iii) moagem do resíduo para incorporação como carga em compósitos. A intenção é que a reciclagem ocorra em Pernambuco de forma a minimizar os custos logísticos de transporte do material.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As pás de turbinas eólicas são fabricadas em uma variedade de formas e designs. Turbinas comerciais de grande porte normalmente têm uma configuração padrão de três pás em um eixo horizontal e usam grandes pás anguladas para capturar o vento, atingindo uma boa relação entre desempenho operacional, peso da estrutura e custos (de fabricação, instalação e operação).

Em termos de evolução tecnológica, o aumento do tamanho dos aerogeradores nos últimos anos desempenha um papel importante na maior geração de energia. De 2010 até os dias atuais, houve um crescimento considerável no tamanho das máquinas, superando a marca de 14 MW de potência nominal e 220 m de diâmetro de rotor para projetos offshore.

Em trabalhos anteriores [8, 9] foi apresentado que o formato da pá eólica é aerodinâmico e seu material rígido, leve e forte, com vida útil de 20 anos e resistente à fadiga de longo prazo em condições ambientais adversas.

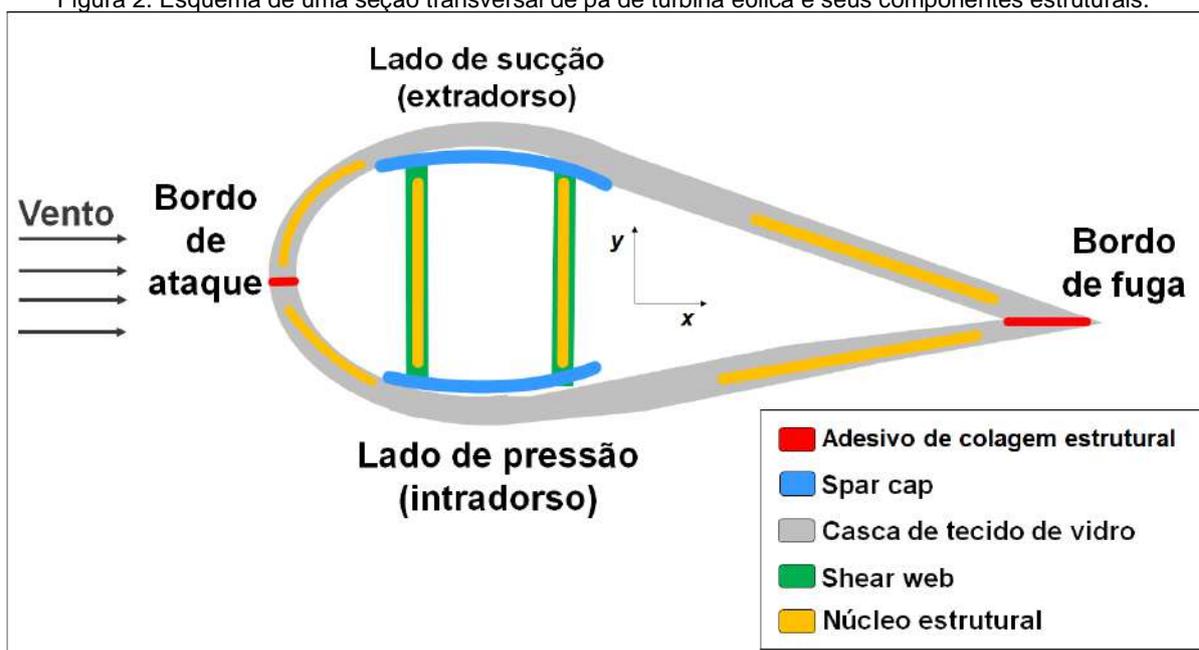
Por esta razão, pás eólicas de grande porte são feitas de material compósito – uma combinação macroscópica de materiais poliméricos e cerâmicos, possuindo uma interface reconhecível, que juntos fornecem um produto superior a qualquer um deles isolados. Desde a década de 1960, o compósito polimérico é um material avançado de engenharia amplamente utilizado em diversas aplicações de alto desempenho, como aeroespacial, civil, automobilística, naval e eólica, devido às suas excelentes propriedades mecânicas e químicas, substituindo materiais convencionais, como o aço.

2.1 Fabricação de pás de turbinas eólicas

A produção de pás eólicas é um sistema complexo de fabricação por projetos, possuindo muitos processos manuais que dificultam a padronização e o controle de qualidade. Armazenagem e cadeia de suprimentos também são alguns desafios na gestão da produção devido às grandes dimensões das pás exigidas nos projetos atuais. Compósitos de matriz polimérica (principalmente resina à base de epóxi ou poliéster), reforçados com fibras de vidro ou carbono, são geralmente usados para fabricar as pás [8, 9].

Placas de madeira de balsa ou de polímeros sintéticos, como cloreto de polivinila (PVC), poliuretano (PU) e, mais comumente, polietileno tereftalato (PET), são colocadas como núcleo estrutural (material de enchimento) nas cascas das pás eólicas. Esses materiais de núcleo são combinados ao tecido de vidro, à resina polimérica e aos componentes estruturais da pá (como *spar cap* e *shear webs*) em um molde aberto que definirá o formato final da pá, por um processo chamado de infusão a vácuo (Figura 2). Este processo utiliza pressão (vácuo) para conduzir a resina nos materiais secos colocados no molde devidamente preparado com agente desmoldante (cera) [8, 9].

Figura 2. Esquema de uma seção transversal de pá de turbina eólica e seus componentes estruturais.



Fonte: Adaptado de [9].

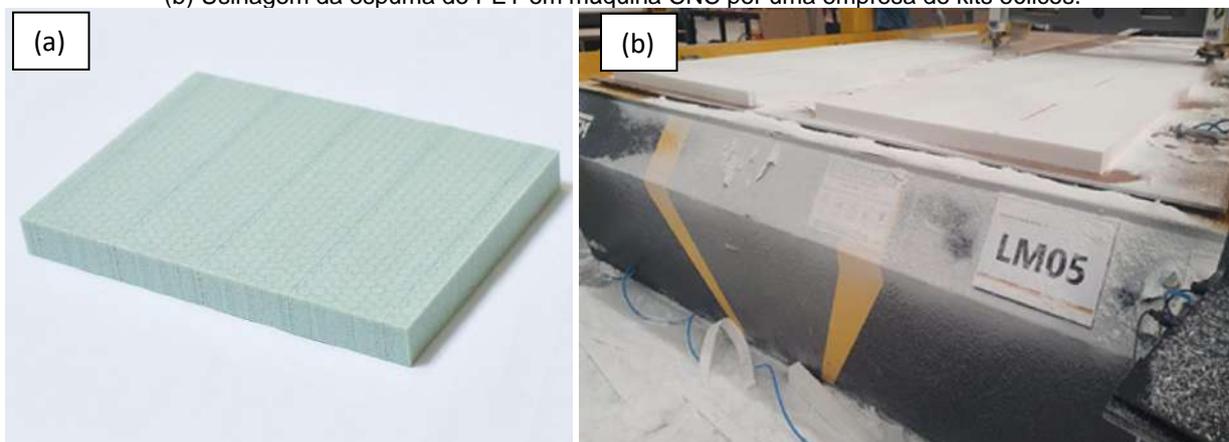
2.2 Núcleo estrutural de PET usado em pás de turbinas eólicas

Conforme mencionado anteriormente, os núcleos estruturais de PET são combinados a outros materiais, como fibra de vidro e resinas termorrígidas, no processo de infusão a vácuo para a produção das pás eólicas. Assim, o laminado final (compósito) formado possui elevada resistência mecânica e ao mesmo tempo leveza, características necessárias para as pás de turbinas eólicas atuais (acima de 7 MW de potência nominal), que facilmente ultrapassam os 75 m de comprimento e pesam de 15t a 20t cada.

O núcleo estrutural de PET processado pela empresa de kits eólicos em estudo (Figura 3) é adquirido de dois fornecedores internacionais [10, 11] na densidade de 100 kg/m³. Um deles, inclusive, utiliza uma tecnologia patenteada de processo para a produção de espumas a partir de garrafas de bebidas PET pós-consumo (plástico PET 100% reciclado, r-PET).

Figura 3. (a) Espuma de polietileno tereftalato (PET) usada como núcleo estrutural em pás eólicas.

(b) Usinagem da espuma de PET em máquina CNC por uma empresa de kits eólicos.



Fonte: (a) Adaptado de [10]. (b) As autoras (2023).

A Tabela 1 apresenta as principais propriedades físicas e mecânicas da espuma de PET, onde pode-se observar que o PET apresenta características interessantes, como: fácil processamento com todos os tipos de processos de laminação e resinas eólicas, temperatura de processamento de até 150°C, excelente resistência a fadiga, alta estabilidade química, estabilidade térmica a longo prazo, sem absorção de água, reciclado e reciclável.

Tabela 1. Principais propriedades físicas e mecânicas de espuma de PET (polietileno tereftalato) empregada como núcleo estrutural de pás de turbinas eólicas.

| Característica | Tipo de espuma de PET | |
|-----------------------------------------|-----------------------|---------------|
| | ARMAPET STRUCT GR 100 | AIREX T92.100 |
| Fornecedor | Armacell | Airex |
| Densidade [kg/m ³] | 100 | 100 |
| Resistência à compressão [MPa] | 1,50 | 1,75 |
| Módulo de compressão [MPa] | 160 | 90 |
| Módulo de cisalhamento [MPa] | 21 | 23 |
| Módulo de Young [MPa] | 120 | 110 |
| Tensão de tração [MPa] | 2,5 | 2,3 |
| Condutividade térmica a 23° C [W/(m.K)] | 0,034 | 0,034 |

Fonte: Adaptado de [10, 11].

A baixa densidade dos núcleos de PET deve-se à estrutura de células fechadas resultante da injeção de um gás inerte no processamento do material plástico.

2.3 Reciclagem de núcleo estrutural de PET de pás eólicas

O PET é um material versátil com a capacidade de ser refeito a partir de seu estado de polímero por meio de reciclagem mecânica e até mesmo de volta ao seu monômero original por meio de reciclagem avançada [6]. A escala de uso do PET permite pesquisas contínuas e aplicações em reciclagem aprimorada. Publicações sobre novos usos de PET descartado e a capacidade de limpá-lo e convertê-lo em muitas formas, incluindo materiais alternativos, estão se expandindo na tentativa de completar o uso circular ou melhorar o fim da vida útil desse material.

O PET em forma de *flake* oriundo de embalagens de garrafas pós consumo já vem sendo reciclado pela indústria de tintas imobiliárias para formulação em resinas poliéster. Vários trabalhos na literatura [12-19] relatam a obtenção de tintas à base de PET oriundo de matéria-prima virgem e recipientes de PET recuperados.

Um estudo [20] apontou a viabilidade de reciclagem de espumas de PET da indústria eólica apenas como material de reforço estrutural na construção civil (na forma de aglomerados).

A decomposição química do PET (reciclagem terciária) se fundamenta na reversibilidade da reação de polimerização e pode ser feita por diversos processos, sendo a glicólise o mais simples e mais antigo método de despolimerização do PET. A glicólise é a degradação do PET na presença de um solvente (glicol), sendo mais comuns o monoetilenoglicol (MEG), dietilenoglicol (DEG) e propilenoglicol (PG) [21].

Nesse contexto, acredita-se que o resíduo de espumas de PET, uma sucata plástica da indústria eólica, possua alto potencial de reciclabilidade devido a sua alta viscosidade intrínseca e temperatura de fusão aceitável (260°C) para reprocessamento por moldagem térmica (por exemplo extrusão).

3. MÉTODO DO ESTUDO

O resíduo de espuma de PET foi disponibilizado por uma fabricante de kits eólicos em Suape-PE, que adquire madeira de balsa e espuma de PET em forma de placas e realiza diversas operações de usinagem em máquinas CNC (conforme foi mostrado na Figura 3.b), como cortes, furos, chanfros e sulcos, de modo a montar kits desses materiais usinados em tamanhos e quantidades segundo especificações técnicas do projeto da pá eólica de seu único cliente, também localizado em Suape.

O resíduo de PET foi coletado nas caçambas de descarte de material (em forma de placas) e também do sistema de exaustão das máquinas de usinagem CNC (em forma de pó) e entregue às três empresas que se disponibilizaram a fazer testes iniciais com o material (Figura 4).

Figura 4. (a) Retalhos de espuma de PET gerados após usinagem das placas em máquina CNC. (b) Pó da espuma de PET coletados no sistema de exaustão das máquinas CNC.



Fonte: As autoras (2023).

Para o estudo de incorporação do resíduo de PET em tintas poliéster, foram realizados testes de compatibilidade química da espuma com propilenoglicol no laboratório de química da empresa Tintas Iquine, em Pernambuco. O processo foi conduzido a 240 rpm e programado para elevação de temperatura até 230°C. Foram utilizados 1000g do reagente e 100g de resíduo de PET em pó branco (fabricante Ayrex).

Devido ao alto volume da amostra, os 400g restantes seriam adicionados mediante fundimento e abaixamento do volume inicial.

Em paralelo, 20 kg de resíduo de espuma de PET eólico foram entregues a duas empresas da Região Metropolitana do Recife (RMR) para: (i) decomposição do material e posterior produção de plástico extrudado na empresa Pernambuco PET; (ii) moagem do resíduo para incorporação como carga em concreto pela empresa Ecológica. Foram realizados ensaios de compressão em corpos de prova cilíndricos (diâmetro 50 mm e altura 100 mm), 7 dias de cura após a moldagem, carga aplicada de 25MPa, conforme norma NBR 5739/18.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Testes de incorporação do resíduo de PET eólico em tinta poliéster

No teste conduzido na Tintas Iquine para verificar a compatibilidade da espuma de PET com propilenoglicol (principal componente nas resinas poliésteres), não houve fundimento e nem interação entre os materiais (Figura 5). O processo foi estável, operado a 240 rpm e programado para elevação de temperatura até 230°C. Em 187,4°C houve estabilização da temperatura, sem aquecer mais, considerado então um resultado divergente em relação ao uso de *flakes* de PET de garrafas pós-consumo, onde a interação se dá de maneira satisfatória.

Figura 5. (a) Teste de compatibilidade química de resíduo de espuma de PET eólico em propilenoglicol. (b) Mistura após 24h, processo finalizado devido a não interação entre os materiais.



Fonte: Cortesia Tintas Iquine (2023).

Resultado semelhante foi obtido com os testes de compatibilidade química conduzidos no IFPE Campus Ipojuca, utilizando monoetilenoglicol e metanol, isto é, o material não foi solubilizado pelos reagentes.

Com esse resultado, a empresa de tintas descartou a possibilidade de utilizar o resíduo de PET eólico em suas formulações de resina poliéster.

4.2 Reciclagem por extrusão do resíduo de PET eólico

O teste de fusão da amostra em pó de resíduo de PET eólico conduzido na mufla do IFPE *Campus Ipojuca* fundiu o material a 260°C, conforme esperado para o PET, comprovando se tratar de um polímero termoplástico. Isso demonstra a possibilidade de reciclagem térmica do resíduo em máquinas extrusoras. De fato, o PET tem um grande potencial de reciclagem se comparado aos outros plásticos mais difundidos, podendo ser tratado das mais diversas formas [7].

O teste inicial conduzido no laboratório da empresa Pernambuco PET foi o de densidade, o parâmetro inicial de análise utilizado para verificar a adequabilidade do material nos reatores e extrusoras. A densidade da amostra foi determinada em 0,11 kg/L, considerada muito baixa densidade, o que implicaria em um tempo de residência no reator duas vezes maior do que o tempo gasto para o PET pós-consumo de garrafas que a empresa já reprocessa. Foi apontado pela recicladora que para a reciclagem do PET eólico ser economicamente viável, sua densidade deveria ser de 0,2 a 0,8 kg/L. Como as embalagens de garrafas PET tem uma disponibilidade maior no mercado de reciclagem do que o PET eólico, as linhas de produção são programadas para operar exclusivamente a resina de garrafas pós-consumo e por isso não é interessante para a empresa ajustar os parâmetros do processo para o PET eólico.

4.3 Reciclagem do PET eólico para incorporação como carga em concreto

Com relação à empresa Ecológica que também recebeu amostras do material, a mesma destinou a uma fábrica de blocos de concreto na tentativa de incorporar o PET eólico em formulação para construção civil. Os resultados do ensaio de compressão realizado em corpos de prova cilíndricos (Figura 6) mostram perda de 27% de resistência mecânica quando adicionado o PET eólico como carga de reforço. Os valores de resistência à compressão foram de 22,8 MPa para blocos 100% concreto e de 16,6 MPa para blocos de concreto com PET eólico.

Figura 6. Resultado do ensaio de compressão em blocos de concreto pré-moldados.

| Série: 9 | fck: 25,0 MPa | Amostragem: Cliente | | | | | | | |
|------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|------|------------|--------------|---------------|-------------|----------|----------|
| Referência: Chapim Fibra - Iso Pré-Moldados - 03 | | | | | | | | | |
| Idade | Resistência (MPa) | Repres. | Obs. | Moldagem | Ruptura | Diâmetro (mm) | Altura (mm) | Prep. | Prensa |
| 7 D | 16,6 | (R) | | 05/07/2023 | 12/07/2023 * | 50,0 | 100,0 | Retifica | Classe 1 |
| Série: 10 | fck: 25,0 MPa | Amostragem: Cliente | | | | | | | |
| Referência: Chapim Sem Fibra - Iso Pré-Moldados - 04 | | | | | | | | | |
| Idade | Resistência (MPa) | Repres. | Obs. | Moldagem | Ruptura | Diâmetro (mm) | Altura (mm) | Prep. | Prensa |
| 7 D | 22,8 | (R) | | 05/07/2023 | 12/07/2023 * | 50,0 | 100,0 | Retifica | Classe 1 |

Fonte: Cortesia TECOMAT / Ecológica (2023).

Diversos estudos sobre a substituição de agregados minerais convencionais em concreto de cimento Portland estão sendo realizados atualmente [22], entre eles a utilização de resíduos de PET pós-consumo como uma alternativa viável para dar uma destinação mais nobre aos mesmos, agregando valor e reduzindo impactos ambientais para a obtenção de concretos com propriedades otimizadas para uma aplicação específica. No entanto, a trabalhabilidade de concretos de cimento Portland é alterada quando se substitui os agregados convencionais por resíduos de PET (maiores teores de substituição provocam maiores perdas de abatimento). Além disso, o PET apresenta baixa resistência a álcalis. Entretanto, não se detectou qualquer problema durante a utilização das fibras em concretos normais.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Embora a eólica seja uma fonte limpa e renovável de energia, é necessário que toda a cadeia produtiva do setor seja sustentável. Isso significa que a indústria de pás eólicas precisa destinar o refugo de seus processos de fabricação de forma a minimizar os impactos ambientais de uma possível poluição causada pelas matérias primas de origem fóssil, como é o caso dos núcleos estruturais de PET das pás.

Mesmo sendo um resíduo classe II, vale lembrar que este estudo identificou um volume mensal de 155 mil litros de espuma de PET descartados na natureza por apenas uma empresa fornecedora de kits para pás eólicas no Brasil.

Apesar da resina PET de garrafas pós-consumo ser um material bem conhecido no mercado de reciclagem plástica há muitos anos, o PET eólico mostrou neste estudo ser um material desconhecido e de difícil reprocessamento para as empresas que se disponibilizaram a reutilizá-lo, por sua baixa densidade, o que dificulta sua utilização em reatores e extrusoras. Também não se conseguiu até o momento resultado promissor na incorporação do PET eólico em resinas poliéster e em blocos de concreto. No entanto, espera-se que o PET eólico seja valioso o suficiente para que os esforços de P&D continuem na busca de soluções atrativas financeiramente para seu reprocessamento.

E pensando nas dezenas de turbinas eólicas que estão chegando ao final de sua vida útil em parques no Brasil, pela sua história de mais de 20 anos de energia eólica no país, este trabalho traz uma contribuição para o estudo da reciclagem de pás que brevemente estarão sendo descomissionadas. Seguirão para os cemitérios de turbinas eólicas? Ou haverá uma legislação, a exemplo da Europa, que obrigue os proprietários dos parques a reciclar seus componentes?

Se os próximos resultados desta investigação apontarem para uma viabilidade técnica e comercial para incorporação do resíduo de PET como carga de reforço em compósitos da construção civil, como argamassas e cimentos, este será o caminho promissor para que o resíduo de núcleo estrutural de pás eólicas seja reciclado em alternativa ao caminho atual dos aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

[1] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Renewables 2021: analysis and forecast to 2026**. 2021. Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/5ae32253-7409-4f9a-a91d-1493ffb9777a/Renewables2021-Analysisandforecastto2026.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2023.

- [2] GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC). **Capturing Green Recovery Opportunities from Wind Power in Developing Economies**. 2022. Disponível em: <<https://gwec.net/embracing-a-green-recovery-from-the-covid-19-pandemic-could-add-2-2-million-energy-jobs-in-key-developing-economies-report-finds/>>. Acesso em: 18 mar. 2023.
- [3] GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC). **Global Wind Report 2023**. 2023. Disponível em: <<https://gwec.net/globalwindreport2023/>>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA E NOVAS TECNOLOGIAS (ABEEólica). **Infovento n° 31**. Jun 2023. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/energia-eolica/dados-abeeolica/>>. Acesso em: 25 jun. 2023.
- [5] AGÊNCIA BRASIL. **Geração instantânea de energia eólica no Nordeste tem novo recorde**. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-07/geracao-instantanea-de-energia-eolica-no-nordeste-tem-novo-recorde>>. Acesso em: 26 jun. 2023.
- [6] SARDA, P.; HANAN, J.C.; LAWRENCE, J. G.; ALLAHKARAMI, M. Sustainability performance of polyethylene terephthalate, clarifying challenges and opportunities. **Journal of Polymer Science**, v. 60, 2022, pp.7-31. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/pol.20210495>>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- [7] BRIVIO, L.; TOLLINI, F. PET recycling: Review of the current available technologies and industrial perspectives. **Advances in Chemical Engineering**, v. 60, 2022, pp. 215-267. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/bs.ache.2022.09.003>>. Acesso em: 26 jun. 2023.
- [8] LUCENA, J.A.Y.; LUCENA, K.A.A. Wind energy in Brazil: an overview and perspectives under the triple bottom line, **Clean Energy**, v. 3, n. 2, 2019, p. 69-84. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/ce/zkz001>>. Acesso em: 29 jun. 2023.
- [9] LUCENA, J.A.Y. Recent advances and technology trends of wind turbines. In: **Recent Advances in Renewable Energy Technologies**, Academic Press, 2021, p. 177-210, ISBN 9780323910934. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91093-4.00009-3>>. Acesso em: 29 jun. 2023.
- [10] ARMACELL. **ArmaPET Sctruct GR**. Technical data. 2021. Disponível em: <www.armacell-core-foams.com>. Acesso em: 25 mar. 2023.
- [11] 3ACOMPOSITES. **Airex T92**. Core materials. Data sheet. 2022. Disponível em: <<https://www.3acorematerials.com/>>. Acesso em: 25 mar. 2023.
- [12] TSUBUKU, Y. **Powder coating prepared from PET resin-products as raw material and process for the preparation thereof**. United States Patent, 2004. Disponível em: <<https://patentimages.storage.googleapis.com/5c/10/3e/3470cd90140438/EP0990684B1.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2023.
- [13] CORSO, D.; BIRRIEL, E. J.; ZATTERA, A. J.; SCIENZA, L. C. **Efeito da adição de PET pós-consumo em uma tinta em pó comercial base poliéster**. Congresso Brasileiro de Polímeros, 10, 2009. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/PDF/626.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2023.
- [14] RUECKER, C. G. et al. **Síntese de resinas alquílicas com reciclagem química de PET pós-consumo in situ**. Congresso Brasileiro de Polímeros, 8, 2009. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2005/PDF/530.pdf>>. Acesso em 04 fev. 2023.
- [15] ALVES, N.S.M. et al. **Estudo do teor de PET pós-consumo na síntese de resinas alquílicas**. Congresso Brasileiro de Polímeros, 9, 2010. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2007/PDF/393.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2023.
- [16] FERRARINI, F.; SCIENZA, L.C.; PIAZZA, D.; OLIVEIRA, G.R.; ZATTERA, A.J.; PAGNUSATI, J.C.; NEUWALD, O.A. **Reuso de PET pós-consumo em uma tinta em pó base poliéster**. Congresso Brasileiro de Polímeros, 12, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/319244472_Reuso_de_PET_pos-consumo_em_uma_tinta_em_po_base_poliester>. Acesso em: 25 jun. 2023.

- [17] NEUWALD, O. A.; PAGNUSATI, J. C.; PIAZZA, D.; ZATERRA, A. J.; SCIENZA, L. C. **Efeito da adição de PET pós-consumo em tintas comerciais.** In: INTERCORR, 4, 2014. Disponível em: <https://abraco.org.br/src/uploads/intercorr/2014/INTERCORR2014_031.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- [18] RODRIGUES, K. S. **Reciclagem de PETpc na incorporação da formulação de uma tinta em pó.** Dissertação (Engenharia de Processos) – Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/handle/11338/1394>>. Acesso em: 22 jun. 2023.
- [19] ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M. A. Poli (tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 2, p. 121-132, 2009. Disponível em: <<https://www.revistapolimeros.org.br/journal/polimeros/article/doi/10.1590/S0104-14282009000200009>>. Acesso em: 22 fev. 2023.
- [20] DIGNÉ, J. **Defining requirements of PET scrap for open loop recycling of post-industrial waste.** Lund University. Department of Chemical Engineering, 2020.
- [21] SOUZA, L.; TORRES, M.C.M.; RUVOLLO FILHO, A. C. Despolimerização do poli (tereftalato de etileno) - PET: efeitos de tensoativos e excesso de solução alcalina. **Polímeros**, v. 18, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-14282008000400013>>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- [22] MODRO, N.L.R.; MODRO, N.R.; OLIVEIRA, A.P.N. Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. **Matéria**, v. 14, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1517-70762009000100007>>. Acesso em: 30 jun. 2023.

Análise da Viabilidade Técnica e Econômica para Implantação de Aerogeradores na Comunidade de Serra Barra Do Vento, Município De Serrinha - Ba

Lucimara Dias Carvalho¹, Roberto José Batista Câmara², Consuelo Cristina Gomes Silva³, Luiz Henrique Santos Silva⁴

^{1,2,3,4} Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

lucimaradias@aluno.ufrb.edu.br, robertocamara@ufrb.edu.br, consuelo.cristina@ufrb.edu.br,
luizhs_silva@ufrb.edu.br

RESUMO

A substituição da energia convencional pelas energias renováveis tem sido uma prática adotada pelo mundo como alternativa de mitigação das mudanças climáticas. Essa é uma pauta bastante atual e urgente, estando cada vez mais em discussão pelos líderes mundiais por conta dos efeitos ambientais sentidos pela sociedade. Diante desse cenário, justifica-se a elaboração de um estudo do potencial de geração de energia eólica em uma região interiorana da Bahia chamada Serra Barra do Vento, zona rural localizada em Serrinha. Para desenvolvimento do trabalho, utilizou-se de plataformas de simulação com dados atuais de velocidade do vento e de sites oficiais com dados de consumo energético, permitindo a obtenção de elementos para cálculo do potencial eólico e da demanda energética do local. A partir disso, dimensionou-se o tamanho necessário do aerogerador capaz de atender essa demanda. De posse desses valores, obtém-se dois cenários possíveis para substituir a energia tradicional pela eólica na região, sendo que ambos consistem na implantação de uma mini usina eólica com capacidade de geração que contempla toda a comunidade. O primeiro com vinte e quatro aerogeradores semi-industriais instalados e o segundo com quarenta e um aerogeradores domésticos necessários para suprir a demanda energética calculada.

Palavras-chaves:

Energia Renovável; Aerogerador; Sustentabilidade; Eletrificação rural.

ABSTRACT

Replacing conventional energy with renewable energy has been a practice adopted around the world as an alternative to mitigating climate change. This is a very current and urgent agenda, being increasingly discussed by world leaders due to the environmental effects felt by society. In view of this scenario, it is justified to carry out a study of the potential for wind energy generation in an inland region of Bahia called Serra Barra do Vento, a rural area located in Serrinha. For the development of the work, simulation platforms with current wind speed data and official websites with energy consumption data were used, allowing the obtaining of elements for calculating the wind potential and the energy demand of the place. From this, the necessary size of the wind turbine capable of meeting this demand was calculated. With these values in hand, two possible scenarios are obtained to replace traditional energy with wind energy in the region, both of which consist of the implementation of a mini wind power plant with generation capacity that covers the entire community. The first with twenty-four semi-industrial wind turbines installed and the second with forty-one domestic wind turbines needed to supply the calculated energy demand.

Keywords:

Renewable Energy; Wind turbine; Sustainability; Rural electrification.

1. INTRODUÇÃO

Tanto a Matriz Energética quanto a Matriz Elétrica mundial, estão concentradas em fontes fósseis não renováveis, sendo o carvão responsável por grande parcela da mesma (IEA, 2021), movimentando boa parte da economia global. Após as crises energéticas causadas pela instabilidade do mercado petrolífero na década de 70, a dependência e centralização dessas, vem sendo alvo de discussões socioambientais e geopolíticas, em função da crescente demanda por energia no mundo. A Matriz Elétrica Brasileira, por outro lado, é composta em grande maioria por fontes renováveis como a biomassa, eólica e solar, superadas pela hidráulica, que é responsável por mais da metade da geração de energia elétrica do Brasil (BEN, 2022). Esta última, por ser uma fonte renovável e consideravelmente limpa se comparada aos combustíveis fósseis, traz destaque para o país com a pauta ambiental.

Entretanto, apesar de parecer apenas uma grande vantagem, o uso da energia hidráulica traz problemas socioambientais como alagamento da área circunvizinha, afetando a fauna, a flora e as comunidades ribeirinhas presentes nos arredores da implantação das hidrelétricas, a liberação de CO₂, a desoxigenação da água por conta da queda de altitude. Além disso, o fato de ser responsável por grande porcentagem da matriz, causa uma dependência do Brasil para com as hidrelétricas e o recurso necessário para suprir a demanda energética do país que são as águas das chuvas. Esse insumo é oriundo de fatores externos não controláveis e vêm sofrendo ainda mais instabilidades nas últimas décadas com o avanço das mudanças climáticas. Uma prova dessa instabilidade aconteceu recentemente, em 2021, quando o Brasil atravessou uma crise hídrica causada pelas baixas vazões em algumas bacias hidrográficas, sendo uma delas a bacia do Prata, responsável por 64% da energia elétrica de fonte hidráulica do país (DINIZ, 2021).

O problema de estiagem afetou diretamente o meio ambiente e a economia brasileira, já que tornou necessário o uso maior das termelétricas que funcionam a partir de fontes fósseis e, por sua vez, provocam uma série de impactos ambientais, agravando o aquecimento global (MEDEIROS, 2003). Além disso, esse processo torna a produção de energia mais cara, refletindo nas contas de energia e, assim, nos valores de mercado (PURACA, 2019). Diante deste cenário de transição energética e utilização das energias renováveis em nossa matriz elétrica, surge a necessidade de diversificação nas fontes convencionais de energia para garantir maior segurança energética e mitigação das mudanças climáticas nacionalmente e mundialmente.

Nesse sentido, pauta-se a energia eólica como fonte alternativa viável de energia elétrica para complementação e descentralização da matriz elétrica brasileira de forma mais limpa e sustentável, já que o país tem grande potencial de geração. Ainda que venham crescendo os empreendimentos eólicos no país nos últimos anos, tem-se relativamente pouca capacidade instalada. Trata-se ainda de uma alternativa que contempla locais de difícil acesso e manutenção das concessionárias de energia elétrica convencionais, possibilitando menos dependência das comunidades rurais distantes de centros urbanos para com as mesmas, que historicamente enfrentam dificuldades para eletrificação da comunidade onde vivem. Diante dessas considerações, faz-se necessária a ligação entre esses fatores para que seja possível contemplar áreas interioranas que também apresentam características favoráveis de utilização de ventos, incentivando e utilizando o potencial de geração de energia eólica no interior do Nordeste e, mais especificamente, da Bahia.

Mediante o apresentado, torna-se relevante o estudo de uma área específica, como a Comunidade de Serra Barra do Vento (SBV), localizada em Serrinha-BA, interior e sertão do Nordeste, para entendimento da viabilidade técnica e econômica da implantação da energia eólica. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo principal analisar o potencial de geração de energia eólica da comunidade de Serra Barra do Vento, em Serrinha-BA. Bem como, os objetivos específicos são estimar a demanda energética atual da comunidade de Serra Barra do Vento, calcular o potencial eólico necessário para suprir a demanda prevista e analisar a viabilidade técnica e econômica para implantação de um ou mais aerogeradores (industriais ou domésticos).

Desta forma, justifica-se assim o interesse em aprofundar os estudos sobre essa fonte e utilização da mesma como forma de substituição ou compensação para a energia elétrica convencional em locais mais distantes, comunidades rurais e com grande potencial de ventos. A energia eólica Off Grid (não interligada a rede) pode ser utilizada em comunidades isoladas, que ainda não possuem energia elétrica fornecida por uma concessionária de energia.

2. ESTADO DA ARTE/ FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Muito se tem discutido ultimamente sobre a crise climática e os efeitos já existentes sobre os ecossistemas e, conseqüentemente, sobre a organização socioeconômica mundial. Segundo dados do IPCC (2014), os extremos climáticos têm sido oito vezes mais frequentes na última década em comparação com a década de 50 do século passado, bem como a temperatura do planeta também tem aumentado, chegando a 1,0 °C mais quente que o período pré-industrial, permitindo uma correlação entre esses fatores.

É estimado pelos pesquisadores do IPCC que, entre 2030 e 2052, considerando o ritmo de aumento atual, o aumento de temperatura passe ainda de 1,0 °C para 1,5 °C, aumentando os extremos de calor em várias regiões habitadas, a frequência de chuvas e secas intensas e o nível do mar, deixando também os oceanos mais ácidos e com menos oxigênio. Segundo o Sumário para Formuladores de Políticas (IPCC, 2019), os riscos associados às mudanças climáticas crescem juntamente com a estimativa anterior e dependem da magnitude e ritmo do aquecimento, assim como os impactos causados por esse evento podem ser potencializados pelos níveis de desenvolvimento e vulnerabilidade, bem como podem ser minimizados pela implementação de opções de adaptação e mitigação.

Desse modo, como medida mitigadora a nível global, surgiu a Conferência das Partes (COP, da sigla em inglês), como uma reunião anual entre todos os países para que os mesmos se comprometam a tomar medidas práticas para controlar a crise climática e seus impactos. A partir disso surge o Acordo de Paris, um documento que descreve as medidas para que seja alcançado o compromisso de limitar o aquecimento global à um aumento de 1,5°C dos níveis pré-industriais até 2030, de forma a ser necessário até chegar a valores líquidos negativos de emissões (principalmente de CO₂), tornando as medidas sustentáveis pauta muito importante em todos os setores no mundo, exigindo transições rápidas e de longo alcance em energia, terra, infraestrutura urbana (incluindo transportes e edificações) e sistemas industriais (IPCC, 2019).

A Matriz Energética brasileira se destaca do resto do mundo por ter uma grande contribuição de fontes renováveis na sua composição, somando quase metade da mesma (BEN, 2022). Um cenário semelhante ocorre com a Matriz Elétrica do Brasil que, por sua vez, é ainda mais renovável do que a Energética, sendo constituída, em sua maioria, pela energia hidráulica e com crescimento nas áreas de eólica e solar (BEN, 2022), permitindo que a matriz elétrica brasileira permaneça sendo predominantemente renovável.

Nesse sentido, os incentivos à utilização de fontes renováveis como a solar e a eólica no Brasil, vem crescendo. Sendo um país com enorme potencial para ambas as tecnologias, segundo estudos da CEPREL (2013) e da EPE (2022), o estímulo ao crescimento das mesmas traz, além de uma segurança energética maior, uma matriz elétrica cada vez mais limpa e uma baixa nos custos das tecnologias necessárias para implantação, já que a demanda por estas tende a crescer. As fontes renováveis representam quase 80% da oferta interna de energia no Brasil, sendo essa porcentagem a soma da produção nacional com as importações (BEN, 2022).

A cinética produzida pela força dos ventos ocupa lugar de destaque quanto ao uso para produção de eletricidade, já que visa uma maior segurança energética, custo socioambiental e viabilidade econômica (MARTINS et al., 2008). Tem-se ainda que, em períodos de menor volume de água no Rio São Francisco, os ventos são maiores em determinadas épocas do ano, gerando uma complementaridade entre a geração hidrelétrica e a eólica (CBEE / UFPE, 2000 apud FONTANET, 2012). Esta última compõe mais de 10% da matriz elétrica e em 2021 teve a potência instalada para geração eólica expandida em mais de 20% (BEN, 2022). Além de que estima-se que o potencial brasileiro de geração de energia eólica seja de 500 GW (PURACA, 2019).

Nesse sentido, é possível destacar ainda a região Nordeste, não só pelo potencial, como também pela geração de energia eólica em si que, no primeiro semestre de 2018, foi responsável por aproximadamente 85% da geração de energia eólica do país (CCEE, 2017). A Bahia também se destaca já que, além da grande extensão territorial, possui condições estáveis de vento e apresenta valores elevados de

velocidade média do mesmo, permitindo maior aproveitamento da capacidade dos aerogeradores instalados. Nesse sentido, o Estado conta com um dos maiores parques eólicos da América Latina, instalado nos municípios de Caetitê, Guanambi, Igaporã e Sobradinho (ARAGÃO et al., 2016).

A conversão da energia cinética do vento para mecânica e, posteriormente, para elétrica, ocorre a partir dos aerogeradores que são turbinas eólicas e têm uma estrutura capaz de maximizar o aproveitamento do vento para geração de eletricidade (NASCIMENTO e ALVES, 2016). Estes dispositivos são constituídos por quatro componentes principais, sendo eles a torre (sustenta toda a estrutura na altura desejada), as pás (captam o vento), a nacelle (aloja todos os equipamentos necessários para a conversão da energia) e o rotor (responsável por transformar a energia cinética do vento em energia mecânica em rotação).

A maior diferença entre os tipos de aerogeradores está na orientação do eixo do motor, podendo ele ser de eixo vertical, dividido ainda entre modelo Darrieus e Savonius, ou de eixo horizontal (ROCHA FILHO, 2018). O segundo tipo é dominante no Brasil e no mundo por ter maior rendimento, tendo o escoamento do vento paralelo ao eixo de rotação das pás da turbina. Além disso, existe a classificação enquanto tamanho, podendo ser um gerador de pequeno porte (para potência abaixo de 10 kW), médio porte (para potências entre 10 kW e 250 kW) e grande porte (para potências acima de 250 kW) (BNDS, 2013).

Quanto à instalação de geradores eólicos, alguns fatores contribuem para o estudo de viabilidade da implantação do mesmo, como a velocidade e aceleração do vento, o atrito, turbulência e rugosidade do local a ser instalado e entre outros fatores. Podendo também a instalação ser feita em terra (onshore) ou no mar (offshore), sendo esta última mais recente e ainda pouco utilizada. Esse estudo possibilita o entendimento de qual o melhor tipo de aerogerador a ser instalado em determinado local.

A Serra Barra do Vento (SBV) conta com aproximadamente 35 famílias residentes, sem serviços públicos como escola, unidade básica de saúde e saneamento básico. Somente entre 2007 e 2009 a energia elétrica da concessionária chegou à SBV a partir do programa de eletrificação "Luz para Todos", que ainda não contemplava as residências mais afastadas, de acordo com informações dadas pelos próprios moradores da comunidade.

A chegada da energia elétrica facilitou a rotina de todas as famílias contempladas, já que a energia oferecida pela concessionária oferece uma estabilidade muito maior aos usuários. Entretanto, é importante ressaltar a importância das energias alternativas para comunidades rurais e afastadas dos centros urbanos, já que utilizam fontes inesgotáveis e não necessitam de frequente manutenção, se apresentando como uma alternativa muito viável para eletrificação rural.

3. MÉTODO DO ESTUDO

Como primeiro passo para obtenção dos objetivos propostos, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre algumas das características geográficas e eólicas da região nordeste, estado da Bahia, municipais e específicas da área da comunidade Serra Barra do Vento. A literatura concedeu embasamento teórico de forma a destacar a importância da descentralização da Matriz Elétrica para com a fonte hídrica, chamando atenção para a fonte eólica, em específico no interior do Estado por apresentar grande potencial de geração. Além de oferecer maior segurança energética para o país, o fato de ser uma fonte limpa e renovável também chama atenção. Nesse sentido, destaca-se também a utilização da mesma para promoção de inclusão social, já que pode ser utilizada para eletrificação rural, como é proposto no presente trabalho. No segundo momento, para obtenção da demanda, foram pesquisados os valores de consumo energético médio por pessoa no estado da Bahia no site da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

O desenvolvimento metodológico deste trabalho seguiu as seguintes etapas:

Etapa 01: Obtenção do valor médio da velocidade anual dos ventos na comunidade SBV - Foi utilizada a plataforma simuladora Atlas Global do Vento (GWA, da sigla em inglês), versão atualizada 3.1 (2022). Esta plataforma é um aplicativo capaz de identificar áreas de vento propício para geração de energia eólica em todo o mapa mundial entre 10 e 200 m de altitude e, em seguida, realizar cálculos preliminares de acordo com as características da área selecionada.

Etapa 02: Cálculo da demanda energética por residência e da comunidade - Posteriormente à obtenção dos dados, foi possível calcular a demanda de energia elétrica horária tanto da comunidade quanto por

residência e, portanto, a potência necessária para supri-la. Essa etapa foi possibilitada pelos dados gerais per capita e por região, retirados do EPE.

Etapa 03: Dimensionamento do aerogerador (AG) - Os dados obtidos nas etapas anteriores viabilizaram a estimativa do cálculo do diâmetro de um aerogerador utilizando o modelo proposto por FONTANET, 2012.

Etapa 04: Busca pelo modelo de aerogerador adequado – A partir do que foi dado anteriormente, foi realizada uma busca, em função da potência necessária, de modelos fabricados em série pela indústria que atendesse os pré-requisitos calculados.

Etapa 05: Análise econômico-financeira do projeto – Nesta última etapa, utilizando os dados já obtidos, foi possível fazer uma análise econômico-financeira do projeto, simulando uma compensação da energia gerada através da fonte eólica para com a energia elétrica convencional da concessionária, apresentando um cálculo de *payback* para o projeto.

3.1 Dados obtidos

3.1.1 Velocidade do vento para a SBV

A Serra Barra do Vento se localiza a 10 km da cidade de Serrinha e é caracterizada por seu relevo ser de Depressão Periférica (LIMA, 2019), com altimetria variando entre 250 m em sua base e 570 m em áreas de topo (PINTO et al., 2014). A comunidade está entre as coordenadas de latitude 11°38'04.6" Sul e longitude 39°03'13.1" Oeste (-11.634611, - 39.053643) segundo o Google Maps. A comunidade apresenta velocidade máxima em 10% das áreas mais ventosas em torno de 9,2 m/s e velocidade média 7,6 m/s isso para uma altura de 200 m (Global Wind Atlas, Figura 01). A Figura 01 apresenta os dados de vento na SBV a 200 m de altura.

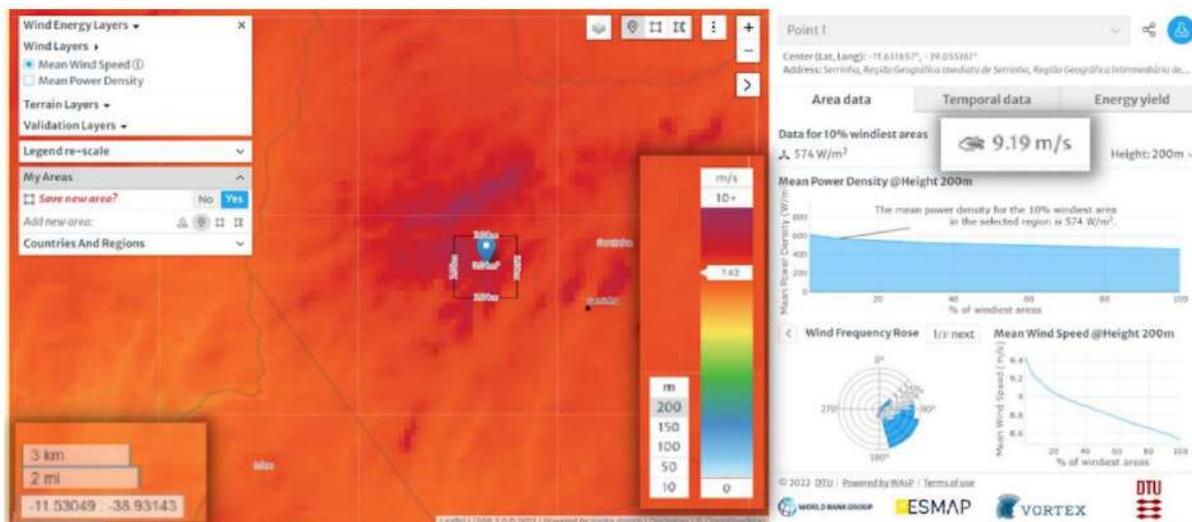


Figura 01: Dados de vento a 200m de altura para Serra Barra do Vento, Serrinha/BA.

Fonte: GWA, 2022

3.1.2 Consumo elétrico residencial

O consumo elétrico residencial corresponde a quase 30% do consumo total no Brasil (EPE, 2020). Segundo dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica com ano base 2021 (EPE, 2022), o consumo de energia elétrica em 2021 no setor residencial na região nordeste foi em média 131 kWh/mês e, na Bahia, 113 kWh/mês. Tem-se ainda que o consumo per capita de eletricidade no estado em 2021 foi de 1.745 kWh/habitante. Com esses dados, apresenta-se a Tabela 01.

Tabela 01: Consumo de energia elétrica no setor residencial em 2021

| | Consumo médio em 2021 |
|------------------------|------------------------------|
| Nordeste | 131 kWh/mês |
| Bahia | 113 kWh/mês |
| Per capita (BA) | 1.745 kWh/hab. |

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do EPE, 2022

3.1.3 Dimensionamento de sistemas eólicos

Para realizar o dimensionamento de um sistema eólico, faz-se necessário o valor da demanda energética do local a ser implantada a usina. Para o cálculo da demanda elétrica por residência foram utilizados os valores baseados nos dados do EPE (Tabela 01). Nesse sentido, considerou-se 365 dias por ano e 24 horas por dia na equação 1 para obter-se a demanda de energia elétrica por residência.

$$D_e = C_m \times 365 \times 24 \times Q_m \quad \text{[equação 1]}$$

Onde:

D_e → Demanda de energia elétrica da residência por hora (kWh);

C_m → Consumo médio per capita na Bahia (kWh/hab);

365×24 → 365 dias × 24 horas;

Q_m → Quantidade de moradores por residência.

Continuando, é conhecida a quantidade de famílias residentes na Serra Barra do Vento, assim como já foi calculado, a partir da equação 1, a demanda de energia elétrica da residência por hora (kWh). Dado isso, é possível calcular a demanda elétrica para toda a comunidade (equação 2).

$$D_c = D_e \times Q_r \quad \text{[equação 2]}$$

Onde:

D_c → Demanda de energia elétrica da comunidade por hora (kWh);

Q_r → Quantidade de residências;

E, por fim, tem-se que o cálculo da área do aerogerador é em função de sua potência, densidade e velocidade do vento e coeficientes de rendimentos (Betz e eficiência dos equipamentos). A relação entre a demanda energética horária e a potência do equipamento se consegue multiplicando-se essa potência

a uma hora de trabalho do equipamento, Dessa forma a unidade energética se iguala, tendo $D_e(kWh) = P(Wh)$ ou $D_c(kWh) = P(Wh)$, podendo agora, a partir da equação 3, estimar a área que deve ser varrida pelas pás do AG para que o ar escoado por essa seção transversal A, gere a potência calculada anteriormente.

É possível observar da equação 3 que a potência é proporcional ao cubo de sua velocidade, implicando que uma pequena alteração desta velocidade resulta em uma grande alteração na potência (DALMAZ et al., 2008), tornando ainda mais importante a escolha do lugar para implantação.

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 A \eta C_p \quad \text{[equação 3]}$$

Onde:

P → potência da turbina eólica;

ρ → massa específica do ar (Kg/m^3);

v → velocidade do vento que incide na turbina eólica (m/s);

A → área varrida pelo rotor da turbina eólica (m^2);

η → eficiências mecânicas e elétricas do sistema;

C_p → coeficiente de potência.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Etapa 01: Obtenção do valor médio da velocidade anual dos ventos na comunidade SBV

Para realizar o cálculo da velocidade média do vento, foi utilizada a Plataforma de Simulação Global Wind Atlas. Essa escolha foi determinada em função da segurança de dados e confiabilidade do simulador. Como apresenta dados de vento a 200 m de altitude e a comunidade estudada está acima disso, beneficia o projeto, podendo fazer com que os aparelhos instalados trabalhem na potência máxima. Apesar de ter limitações para localização exata por dificuldades com zoom, a plataforma utilizada tem uma versão mais atualizada (GWA 3.1, 2022) e apresenta uma boa variedade de dados. Nesse sentido, tem-se que o valor para velocidade média anual do vento para a SBV é de $v = 7,6 \text{ m/s}$.

4.2 Etapa 02: Cálculo da demanda energética por residência e da comunidade

A partir das equações 1 a 3 dadas na seção 2.2.3, é possível desenvolver os cálculos para a demanda energética horária tanto por residência, quanto para a comunidade. Os resultados obtidos possibilitam o entendimento de viabilidade para instalação de um AG que atenda às necessidades apresentadas. Considerando os dados do EPE, é possível obter a demanda de energia elétrica horária por residência, considerando um ano de 365 dias e um dia de 24 horas, bem como 3 moradores por residência (IBGE, 2019). Dessa forma, desenvolvendo a equação 1, tem-se a demanda energética horária por residência e, ainda, dado que a comunidade tem em torno de 35 famílias residentes, desenvolve-se a equação 2 para determinar a demanda elétrica horária da comunidade (Tabela 02).

4.3 Etapa 03: Dimensionamento do aerogerador (AG)

Para um aerogerador de grande porte de três pás, considera-se $\eta = 35\%$ como uma média geral da eficiência de conversão dos aerogeradores modernos (GIPE, 1995 p. 36 apud TERCIOTE, 2002) e $C_p = 0,4$ de acordo com a velocidade do vento (CASTRO, 2004), além de $\rho = 1,225$ (kg/m³) e $v = 7,6$ m/s (GWA, 2022), utiliza-se a equação 3 igualando $D_e(kWh) = P(Wh)$ para obtenção da área que deve ser varrida pelas pás do AG para que o ar escoado por essa seção transversal A, gere a potência calculada anteriormente para uma residência e para toda a comunidade (Tabela 02). Tem-se $A = \pi r^2$.

Tabela 02: Demanda energética horária e dimensionamento de aerogerador para SBV.

| | Demanda energética (kWh) | Área varrida (m ²) | Raio necessário (m) |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Por residência | $D_e = 0,6 kWh$ | $A = 26,6 m^2$ | $r = 2,9 m$ |
| Para a comunidade | $D_c = 21 kWh$ | $A = 931 m^2$ | $r = 17,2 m$ |

Fonte: Elaboração própria com base nos cálculos desta seção.

4.4 Etapa 04: Busca pelo modelo de aerogerador

A partir do desenvolvimento dos cálculos foi possível fazer uma busca pelos sites de empresas fabricantes de aerogeradores para encontrar o equipamento que contenha as características técnicas capazes de satisfazer a demanda energética da comunidade. Pelos dados de área obtidos serem consideravelmente pequenos para um aerogerador de grande porte (industrial), para os quais foram realizados os cálculos dimensionais, entende-se que seria mais viável a instalação de um ou mais aerogeradores de pequeno porte ou de porte semi-industrial, já que os mesmos são capazes de gerar a energia necessária para manter a comunidade. Os aerogeradores industriais normalmente partem de uma geração de 1 MWh ficando assim com valores muito superiores aos necessários para a comunidade SBV (CÂMARA, 2021).

Nesse sentido, conhecendo a demanda necessária a ser suprida e tomando isso como referência, encontram-se duas opções viáveis de aerogerador para fornecimento de energia elétrica a partir da fonte eólica na comunidade de Serra Barra do Vento, ambas de eixo horizontal. A primeira com capacidade de geração de 1kW, da ENERSUD (modelo Gerar Extreme), um fabricante nacional e com maior número de sistemas eólicos de pequeno porte instalados no país, e a segunda com capacidade de geração de 600 Wh, da Mars Rock (modelo 35S4-600H-12D), encontrada no site de compras e vendas, Mercado Livre. Ambas têm uma vida útil de 20 anos, sendo que a primeira tem 3 pás e a segunda 5 (podendo ser adaptada para 3 ou 4).

4.5 Etapa 05: Análise econômico-financeira do projeto

Utilizando novamente os dados de demanda da comunidade disponibilizados pelo EPE, foi possível calcular a demanda anual por residência e da comunidade, incluindo uma margem de segurança de 15%, facilitando o cálculo de payback e a análise financeira do projeto. Em seguida, dada a potência dos aerogeradores sugeridos, calculou-se a geração anual média de cada equipamento, transformando a potência (kW) para geração mensal (kWh) e, posteriormente, anual, considerando um dia de 24 horas e um mês de 30 dias. A partir disso, dividindo o valor encontrado de demanda anual da comunidade com a porcentagem de segurança pela capacidade de geração anual de cada equipamento, obteve-se a quantidade de equipamentos que devem ser instalados para suprir a necessidade da comunidade.

Em seguida, estimou-se o valor necessário para a implantação da quantidade de aerogeradores calculada considerando o valor de cada equipamento, disponibilizados pela Enersud (no primeiro cenário) e no site Mercado Livre (segundo cenário), além de um valor adicional referente aos insumos de implantação.

Por fim, levou-se em consideração o valor da tarifa social de energia elétrica B1, com o consumo de 31 a 100 kWh, possibilitando estimar o custo anual médio de energia da comunidade. Dado este valor, projetou-se o custo de energia para os próximos 20 anos, já que é o tempo de vida útil dos equipamentos, com um

aumento anual de 10% (ANEEL, 2022), obtendo o custo acumulado amortizável e simulando o payback do projeto (Tabela 03).

Tabela 03: Cálculo de payback.

| | Cenário 1 | Cenário 2 |
|----------------------------------------------|------------------|-----------------|
| | AG da Enersud | AG da Mars Rock |
| Cálculo da demanda | | |
| Demanda anual por habitante (kWh) | 1.745 | |
| Qtd de habitantes por residência | 3 | |
| Demanda anual por residência (kWh) | 5.235 | |
| Qtd. de residências | 35 | |
| Demanda anual da comunidade (kWh) | 183.225 | |
| Margem de segurança | 15,00% | |
| Demanda anual da cmd. c/ margem (kWh) | 210.709 | |
| Cálculo da geração | | |
| Potência (kW) | 1 | 0,6 |
| Geração mensal por und. (kWh) | 720 | 432 |
| Geração anual média por und. (kWh) | 8.640 | 5.184 |
| Cálculo dos aerogeradores | | |
| Qtd. | 24 | 41 |
| Custo por Und. | R\$ 45.000,00 | R\$ 3.085,00 |
| Insumos de implantação por und. | R\$ 4.000,00 | |
| Custo Total | R\$ 1.194.991,75 | R\$ 287.976,75 |
| Cálculo do Payback | | |
| Custo médio por kWh | R\$ 0,7 | |
| Custo anual méd. de energia da cmd. | R\$ 128.257,50 | |
| Payback (anos) | 6 | 1,2 |

Fonte: Elaboração própria.

O projeto funcionará de forma Off Grid, ou seja, é abastecido através de baterias e não é conectado à rede, fazendo com que o que seja produzido, seja utilizado pela própria comunidade. Além disso, é possível notar uma diferença considerável no valor dos equipamentos, isso se dá pelo fato de que o primeiro é um aerogerador de porte semi-industrial, já o segundo se trata de um AG residencial, havendo alterações em dimensões, peças e material entre eles, refletindo no valor final.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A grande centralização da matriz elétrica brasileira na fonte hídrica traz consigo um histórico de crises energéticas causadas por períodos de secas, gerando escassez de recursos. Essa instabilidade causa uma insegurança energética para o país, fazendo com que seja necessária uma diversificação dessa matriz, pensando ainda na mitigação da crise climática. Nesse sentido, tem-se a energia eólica como uma alternativa viável para substituição ou compensação, já que o Brasil apresenta grande potencial de geração da mesma. Da mesma forma, a Bahia e, em específico, a região que foi estudada, comunidade rural de Serra Barra do Vento, também segue essa estatística, viabilizando o estudo feito.

No presente trabalho, foi possível estimar a demanda energética atual da comunidade de Serra Barra do Vento através dos dados retirados do EPE. A partir disso, foi estimado o potencial eólico necessário para suprir a demanda prevista, possibilitando a análise da viabilidade técnica e econômica para implantação de um ou mais aerogeradores que obtivessem as características técnicas capazes de atender as necessidades apontadas. Assim, comprova-se a viabilidade do fornecimento de energia elétrica a partir desta fonte renovável na região, concluindo que os objetivos geral e específicos do trabalho foram alcançados.

Os resultados obtidos permitiram constatar a viabilidade de dois cenários para a utilização da energia tradicional através da fonte alternativa, sendo que ambos consistem na instalação de uma mini-usina. A primeira opção contaria com vinte e quatro aerogeradores de 1 kW de potência cada e a segunda com quarenta e um aerogeradores de 600W de potência. Ambas as opções são capazes de suprir a demanda necessária de energia elétrica para manter a comunidade, que é de 210.709 kWh/ano. Entretanto, é possível ainda destacar um entre os dois cenários sugeridos, já que o aerogerador da Mars Rock se apresenta como um equipamento mais acessível financeiramente e com um payback mais rápido, já que o custo de implantação é amortizado em pouco mais de um ano, se tornando a alternativa mais viável.

Sendo assim, é nítida a possibilidade de compensação de fontes convencionais através de fontes limpas e alternativas. Nesse caso em específico, tendo ainda a prerrogativa de uma eletrificação rural com menor dependência da concessionária de energia tradicional.

Uma observação importante é o fato de que ambos aerogeradores sugeridos apresentam voltagem de 12/24V, fazendo com que seja necessária a utilização de um inversor que transforme para a voltagem padrão utilizada na região (220V).

Para obtenção dos resultados foi de suma importância os dados dos órgãos oficiais, a contribuição da comunidade com a cópia da cobrança disponibilizada e, ainda, a utilização dos simuladores para obtenção dos dados de vento da região, aumentando a confiabilidade dos dados e a credibilidade do estudo feito.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Tarifas Residenciais**: efeito dos reajustes tarifários. 2022.

ARAGÃO, IS et al. **Energias Renováveis**: a eólico-eletricidade como alternativa energética sustentável na Bahia. ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA AMBIENTAL, v. 14, 2016.

BAHIA. CEPEL. Governo do Estado da Bahia. **Atlas Eólico**: Bahia. Bahia: Camargo-Schubert, 2013.

LAGE, ES et al. BNDES. **Panorama do setor de energia eólica**. Brasília: Biblioteca Digital, 2013.

CAMARA, RJB. 2021. **Energia Eólica**. [Notas de aula de apoio à disciplina de Fontes de Energia e Tecnologias de Conversão, lecionada no CETENS, UFRB].

CASTRO, RMG. **Energias Renováveis, Produção Descentralizada**: Introdução à energia eólica. Lisboa, Portugal: Universidade Técnica de Lisboa, 2004.

Câmara de Comercialização de Energia, CCEE. **NOTÍCIAS DO SETOR ELÉTRICO**. 2017.

DALMAZ, A et al. **Energia eólica para geração de eletricidade e a importância da previsão**. Revista ABCM– Engenharia, v. 13, n. 1, p. 27-32, 2008.

DINIZ, JAO et al. **Crise hídrica no Brasil**: o uso das águas subterrâneas como reforço no abastecimento público. CPRM, 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020**: ano base 2019. Brasília: Ministério de Minas e Energia, EPE, 2020a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022**: ano base 2021. Brasília: Ministério de Minas e Energia, EPE, 2022a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional**: ano base 2021. Brasília, 2022.

ENERGY, DTU Wind; MUNDIAL, Grupo do Banco. **Global Wind Atlas**. GWA 3.1. 2022.

FONTANET, FA. **Avaliação de uma Opção de Espera de um Parque Eólico pelo Método de Opções Reais**. 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Puc-Rio, Rio de Janeiro, 2012.

IBGE. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017–2018**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2019.

IEA [International Energy Agency]. **Energy Statistics Data Browser, 2021**. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>. Acesso em dez/2022.

IPCC, PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Sumário para Formuladores de Políticas**. Tradução versão em português: publicada pelo MCTIC. Brasil. Disponível em: www.ipcc.ch (consulta: 23/02/2020), 2019.

LIMA, NS et al. **Estimativa de evapotranspiração potencial no semiárido baiano a partir das imagens termais.** 2019.

MARTINS, FR et al. **O aproveitamento da energia eólica.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, p. 1304.1-1304.13, 2008.

MEDEIROS, AM. **Bases metodológicas para a incorporação da variável ambiental no planejamento da expansão termelétrica no Brasil.** Rio de Janeiro (RJ): COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

NASCIMENTO, RS; ALVES, GM. **Fontes alternativas e renováveis de energia no Brasil: Métodos e benefícios ambientais.** XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência—Universidade do Vale do Paraíba, 2016.

PINTO, BL et al. **A GEOMORFOLOGIA NO CONTEXTO DO PLANEJAMENTO AMBIENTAL: ESTUDO DO USO E OCUPAÇÃO DA SERRA BARRA DO VENTO—SERRINHA/BA.** REVISTA GEONORTE, v. 5, n. 23, p. 30-35, 2014.

PURACA, RC. **Análise de estratégias de controle e otimização de turbinas eólicas considerando degradação da superfície das pás.** 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ROCHA FILHO, RC et al. **ESTUDO DA TURBINA EÓLICA CONVENCIONAL E COM LEVITAÇÃO MAGNÉTICA.** 9 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido - Ufersa, Rio Grande do Norte, 2018.

TERCIOTE, R. **Eficiência energética de um sistema eólico isolado.** Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.

Articulação Institucional e Geração de Valor Compartilhado: Engajamento da Gestão Pública na implementação dos Programas Socioambientais do Complexo Eólico Itarema (CE)

Autores [Juliana Cardoso¹, Catarina Peixoto², Joana Menezes³]

Draxos Consultoria e Gestão Ambiental, Draxos Consultoria e Gestão Ambiental, Draxos Consultoria e Gestão Ambiental.

julianaslcardoso@gmail.com, catarina@draxos.com,joanamenezes@draxos.com

RESUMO

Este artigo apresenta a estratégia de articulação institucional e mobilização comunitária desenvolvida pela Draxos Consultoria e Gestão Ambiental em parceria com as Secretarias Municipais de Educação, Meio Ambiente, Turismo, Cultura e Proteção Social e Saúde de Itarema (CE), no âmbito dos Programas de Comunicação Social, Educação Ambiental e Monitoramento de Saúde do Complexo Eólico Itarema na fase de Operação do empreendimento. Para consubstanciar tal propositura, a participação social e articulação institucional é fundamento estruturante e eixo condutor para implementação da estratégia metodológica, visto que se configura como elemento estratégico de gestão pública democrática nos territórios. Os resultados apontam a importância da intersectorialidade na implementação de intervenções socioambientais nos territórios, visto que as decisões articuladas entre os segmentos sociais possibilitam a complementariedade das ações, buscando um olhar para a totalidade das manifestações das questões sociais e dos cidadãos que demandam atendimento público.

Palavras-chaves:

Programas Socioambientais; Articulação Institucional; Participação Social.

ABSTRACT

This article presents the institutional articulation and community mobilization strategy developed by Draxos Consultoria e Gestão Ambiental in partnership with the Municipal Secretariats of Education, Environment, Tourism, Culture and Social Protection and Health of Itarema (CE), within the scope of the Communication Programs Social, Environmental Education and Health Monitoring of the Itarema Wind Complex in the Operation phase of the enterprise. To substantiate this proposition, social participation and institutional articulation is the structural foundation and driving axis for the implementation of the methodological strategy, since it is configured as a strategic element of democratic public management in the territories.

The results point to the importance of intersectorality in the implementation of socio-environmental interventions in the territories, since the decisions articulated between the social segments allow the complementarity of actions, seeking a look at all manifestations of social issues and citizens who demand public assistance.

Keywords:

Socio-environmental Programs; Institutional Articulation; Social Participation.

1. INTRODUÇÃO

O documento ora apresentado descreve o arcabouço teórico-metodológico que alicerça a construção participativa, dialógica e democrática dos Programas de Comunicação Social, Educação Ambiental e Monitoramento de Saúde do Complexo Eólico Itarema (CE); bem como o seu desenvolvimento em conjunto com os grupos sociais situados na área de influência do referido empreendimento, ao longo de seu ciclo de operação - em consonância com as prerrogativas dos normativos aplicáveis.

A proposta teórico-metodológica aqui apresentada está pautada, em sua essência, na educação para garantia da Cidadania Ambiental, por meio da leitura do território, participação social e do diálogo. Neste sentido, o desenvolvimento de Projetos de Intervenção Socioambientais visa alavancar os processos de mobilização coletiva e formação política para (re) qualificar a relação Sociedade-Natureza e favorecer a participação qualificada dos agentes comunitários na gestão ambiental pública. As atividades ora descritas foram realizadas com gestores e técnicos da gestão pública, juventudes, professores (as) e comunidades locais entre os anos de 2019 e 2023.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De modo a garantir o caráter participativo, democrático e crítico dos Programas Socioambientais, tendo como foco a construção de ambientes dotados de criticidade – gerando valor compartilhado no território – a proposta pedagógica está alinhada ao Princípios do Equador e documentos do International Finance Corporation (IFC), tais como os “Padrões de Desempenho sobre Sustentabilidade Socioambiental” e “Participação dos Interessados: Manual de Melhores Práticas Para as Empresas que Fazem Negócios em Mercados”. Além disso, serão referenciados normativos internacionais, tais como a AccountAbility (AA1000) e o Global Reporting Initiative (GRI - Normas), assim como em referenciais da Educomunicação, Comunicação Popular, Educação Ambiental Crítica, Participação na Gestão Ambiental Pública e Cidadania Ambiental, assim nas diretrizes da Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA) e de publicações do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

3. MÉTODO DO ESTUDO

Utilizando-se do ferramental e referenciais supracitados acima, são promovidas reflexões críticas junto aos públicos para incidir sobre a organização social local através da articulação de coletivos em redes de intervenção socioambiental, apoiadas na criação de espaços que oportunizem o diálogo e encontro entre os diversos atores sociais e coletividades atuantes no município de Itarema. A paulatina organização da comunidade em rede fortalece os vínculos entre os atores de diferentes localidades e potencializa as ações desenvolvidas no território. Para isso, são promovidas ações formativas de incentivo à formação de parcerias, por meio da leitura do território, participação social e do diálogo, de modo a alavancar os processos de mobilização coletiva e formação, assim como favorecer a participação qualificada dos agentes comunitários, na gestão ambiental pública.

Por fim, através deste percurso metodológico, o Programa visa inspirar os atores locais no sentido do reconhecimento de seus laços com o território, através da Memória Social e a sensação de pertencimento entre a população e seu espaço vivido: o município de Itarema.

Com o objetivo de facilitar a leitura sobre as atividades desenvolvidas no âmbito de cada um dos Programas Ambientais, a tabela abaixo elenca os principais aportes teóricos e metodologias empregadas.

Tabela 1: Síntese da Estratégia Metodológica

| PROGRAMA | EIXOS | PRINCIPAIS PARCEIROS | METODOLOGIA |
|-------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PCS PEA PMS | Articulação Institucional e Comunitária | Secretarias Municipais de Educação, Meio Ambiente, Turismo, Cultura e Proteção Social e Saúde de Itarema (CE) | Reuniões institucionais com representantes das instituições locais. |
| PCS PEA | Engajamento de Juventudes | Secretaria Municipal de Proteção Social | Oficina pautada nos referenciais da Educação Ambiental Crítica, Participação na Gestão Ambiental Pública, Cidadania Ambiental e Educomunicação. |
| PCS PEA | Amostra de Projetos e Educomunicação | Secretarias Municipais de Meio Ambiente, Cultura e Turismo | Realização de evento integrado com o público do Programa para compartilhamento de práticas pedagógicas e iniciativas inovadoras no território. |

| | | | |
|--------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PCS PEA | Formação continuada com professores | Secretarias Estaduais e Municipais de Educação | Oficina pautada nos referenciais da Educação Ambiental Crítica, Participação na Gestão Ambiental Pública, Cidadania Ambiental e Educomunicação. |
| PCS PEA | Fomento ao Turismo de Base Comunitária | Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Cultura e Turismo | Oficina pautada nos referenciais da Cartografia Social e do Turismo de Base Comunitária. |

4. PESQUISA DE CAMPO

4.1 Articulação Institucional

A construção das relações de aliança devem ser pautadas na escuta ativa e diálogo transparente com os entes da administração pública local e no caso em tela, as ações de articulação institucional buscam fortalecer a parceria entre as Secretarias Municipais e o Complexo Eólico Itarema, assim como articular conjuntamente o planejamento e implementação das estratégias educacionais para garantir o caráter participativo e dialógico dos Programas Socioambientais e a corresponsabilidade na implementação de ações de intervenção que dinamizam o desenvolvimento territorial.

Ressalta-se que essa dinâmica possibilita a instrumentalização e troca de informações para definição de agendas prioritárias que atendam as demandas sociais do território, tornando a implementação dos Programas Socioambientais cada vez mais dinâmica, participativa e alinhada ao contexto local.

Enquanto agenda prioritária merece destaque a contribuição dos Programas Socioambientais na promoção do Turismo de Base Comunitária, em interlocução com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente, o que se reflete no fortalecimento das dinâmicas e identidade local, geração de renda e desenvolvimento social das comunidades, com responsabilidade socioambiental.

No contexto do Programa de Monitoramento de Saúde, a articulação com a Secretaria Municipal de Saúde busca mapear e monitorar a qualidade de vida dos residentes vizinhos ao Complexo Eólico Itarema por meio de ações colaborativas com as equipes de saúde dos Postos de Saúde da Família que atendem as comunidades localizadas na área de influência do empreendimento.

Ademais as ações de articulação com as Secretarias Municipais de Educação e Proteção Social possibilitaram o desenvolvimento de ações formativas com os professores da Rede Municipal de Ensino e com as juventudes de Itarema.

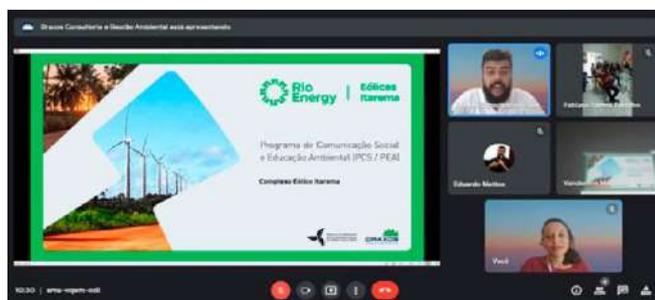
Adicionalmente as ações de articulação institucional oportunizam encontros para atualização periódica sobre os programas ambientais em curso e esclarecer dúvidas sobre o empreendimento, além de reforçar os canais de ouvidoria como principal forma de contato entre a comunidade e o empreendedor.

A seguir são apresentadas as principais ações resultantes do processo de articulação e engajamento com gestão pública municipal do município de Itarema:

4.2 Engajamento e Formação de Juventudes

O percurso formativo se fundamenta na leitura crítica do território como forma de impulsionar o protagonismo juvenil e qualificar a participação do público nas questões socioambientais do território; instrumentalizando o público com ferramentas educacionais para a criação e enraizamento de Projetos de Intervenção Socioambiental.

Ademais foram ofertados encontros online e oficinas de produção audiovisual para o compartilhamento de conceitos básicos, metodologias e experiências práticas para a produção de vídeos, assim como a construção de narrativas e peças de comunicação pelo olhar dos (as) jovens. As oficinas foram facilitadas pelo Coletivo Entre Olhos – organização de Fortaleza (CE) que produz cineclubes, exposições e atividades voltadas para produção audiovisual e cultural com comunidades tradicionais e populações periféricas.



Figuras 02: Engajamento de Juventudes

Fonte: Elaborado pelo autor



Figura 04: Engajamento de Juventudes

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 Amostras de Projetos e Educomunicação

A Amostra de Projetos e Educomunicação buscou reunir, num mesmo ambiente, gestores públicos, estudantes, lideranças comunitárias, a fim de promover a conectividade, reflexão, troca de expertises entre os participantes e residentes do município, contribuindo para fortalecimento das dinâmicas socioprodutivas locais.

Entre os anos de 2019 a 2022 foram realizadas três edições para a Amostra de Projetos e Comunicação, abordando temáticas centrais da Educomunicação, Educação Midiática, Comunicação Comunitária, Cidadania Ambiental, Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC'S), Participação Social na Gestão Ambiental Pública, Elaboração de Projetos de Intervenção Socioambiental e Turismo de Base Comunitária.

Merece destaque na edição realizada em 2022, a oficina educomunicativa sobre o potencial da Educomunicação e Comunicação Popular para explorar, fomentar e valorizar as dinâmicas socioprodutivas locais, a exemplo do turismo, cultura local e protagonismo das juventudes – tendo como culminância a produção de vídeos sobre as potencialidades culturais do município de Itarema.

A estrutura do evento abarcou um conjunto de mesas redondas com debates sobre as temáticas centrais do evento e oficinas específicas; assim com um espaço para o compartilhamento de Práticas Pedagógicas Inovadoras e Projetos de Intervenção Socioambiental implementados no município de Itarema, conferindo valorização e visibilidades aos atores sociais locais.



Figuras 05,06,07: Amostra de Projetos e Educomunicação

Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 Formação Continuada de Professores

O Programa de Educação Ambiental, de forma análoga ao Programa de Comunicação Social, possui objetivos e princípios orientados ao diálogo para a participação dos sujeitos prioritários no processo de licenciamento e gestão do território, sobretudo considerando as necessidades formativas dos públicos de interesse, as problemáticas socioambientais do município e os impactos associados ao empreendimento. Dessa forma, o PEA prevê a execução de atividades educacionais no Eixo Formal de Ensino, em atendimento às necessidades externadas pelas próprias comunidades no Diagnóstico Socioambiental Participativo (DSAP) e ao longo dos diálogos realizados com as partes interessadas.

A Formação Continuada de Professores se propõe a estimular a comunidade escolar local para o exercício da cidadania em relação aos problemas e conflitos socioambientais locais, além de fomentar o debate sobre o controle social das políticas públicas. Nesse sentido, foram exploradas práticas pedagógicas críticas com o uso ferramentas digitais e audiovisuais, a exemplo de Cine Debates.



Figuras 06 e 07: Formação Continuada de Professores (as)

Fonte: Elaborado pelo autor

4.5 Fortalecimento do Turismo de Base Comunitária

Em parceria com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Cultura e Turismo de Itarema, foram realizadas oficinas de Cartografia Social intituladas Mapa de Saberes e Fazeres de Itarema com as comunidades que desenvolvem ou desejam desenvolver atividades de turismo de base comunitária. As oficinas participativas usam conceitos da Educomunicação, Cartografia Social, Geoprocessamento e Gamificação aliadas aos saberes tradicionais para construir mapas colaborativos que valorizem as potencialidades turísticas e culturais do município de Itarema, sob o olhar das comunidades e juventudes.



Figura 08: Oficinas de Turismo de Base Comunitária

Fonte: Elaborado pelo autor

4.6 Encontros Formativos com as equipes de saúde

Os encontros formativos nas Unidades Básicas de Saúde consistem em uma ação integrada entre o Programa de Comunicação Social e o Programa de Monitoramento da Saúde com as equipes de saúde (médicos, enfermeiros, agentes de saúde) que atuam nas comunidades localizadas próximas ao empreendimento, visando à formação de agentes sociais competentes e comprometidos com a disseminação de informações qualificadas junto à população.



Figura 09: Encontros Formativos Equipes de Saúde

Fonte: Elaborado pelo autor

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ao longo do ciclo de execução dos Programas foram ofertadas um total de 110 horas de atividades formativas, envolvendo um total de 170 pessoas. As ações desenvolvidas possibilitaram a criação e o fortalecimento de propostas educacionais com foco em protagonismo juvenil, práticas pedagógicas críticas, cidadania ativa, compartilhamento de experiências entre os atores sociais do território e o fomento ao vínculo com território, cultura e identidade local.

A atividades voltadas ao engajamento de juventudes e formação continuadas de professores mostraram-se como um recurso não apenas pedagógico, mas sobretudo como prática política, cultural e afetiva – na medida em que proporcionaram o fortalecimento de vínculos comunitários, a ampliação do repertório cultural dos (as) educandos (as), aproximando os (as) educandos (as) do contexto socioambiental que estão inseridos. Isso pode ser demonstrado a partir do incremento da participação do público de interesse em instâncias participativas, a exemplo dos conselhos municipais, bem como em campanhas de mobilização sobre pautas socioambientais. Ressalta-se também o incremento na produção de conteúdo para mídias sociais acerca das temáticas abordadas no percurso formativo.

Por fim, tanto a leitura crítica sobre o panorama socioambiental do município, quanto uma eventual e progressiva participação na esfera pública já se configuram como saltos qualitativos diante de um contexto histórico de assimetrias cognitivas, materiais, simbólicas e democráticas entre os diversos atores. Desta forma, à medida que o Programa promove a mobilização e compartilhamento entre estes diferentes agentes, observa-se um incremento qualitativo de capital social e a possibilidade de criação das condições materiais para a reconfiguração das relações humanas e institucionais – “fundadas nos valores da liberdade, igualdade, solidariedade, democracia, justiça social, responsabilidade, sustentabilidade e educação como direito de todos e todas” (Art. 12 Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental - Resolução N° 02, de 15 de junho de 2012).

Ressalta-se, como ponto positivo, o fortalecimento da articulação institucional e parceria com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Cultura e Turismo, que ofereceu suporte na mobilização das comunidades, assim como realizou o acompanhamento das oficinas realizadas.

Ressalta-se que a boa receptividade das iniciativas voltadas para o Turismo de Base Comunitária e Valorização da Cultura e Patrimônio Local, o público de interesse demonstrou interesse em atividades de capacitação para o desenvolvimento de expertises, habilidades e competências par planejamento e gestão das atividades, estruturas e serviços turísticos.

REFERÊNCIAS

ADEVE, José Luiz. Educomunicação em movimento. São Paulo, SP : Fundação Tide Setubal, 2012.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado, 1988.

BRASIL. Decreto 4.281, de 25.06.2002. Regulamenta a Lei 9.795, de 27 de abril de 1999, que institui a Política Nacional de Educação Ambiental, e dá outras providências. DOU 26.06.2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Coordenação Geral de Educação Ambiental. Ministério do Meio Ambiente. Diretoria de Educação Ambiental. Programa nacional de educação ambiental - ProNEA. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Programa de Educomunicação Socioambiental. Série Documentos Técnicos 2. Brasília: Órgão Gestor da Política Nacional de Educação Ambiental, 2005. Disponível em:

http://www.daep.com.br/coletivos/adm/download/dt_2_programa_educomunicacao_socio_ambiental_4a_versao_maio_final.pdf

BRASIL. Política Nacional de Educação Ambiental. Brasília, DF: Imprensa Nacional, 1999.

FREIRE, P. (1997). Pedagogia da Esperança: Um reencontro com a Pedagogia do oprimido. 4ª ed. (1ª edição: 1992). Rio de Janeiro: Paz e Terra.

FREIRE, P. (1997). Pedagogia da Esperança: Um reencontro com a Pedagogia do oprimido. 4ª ed. (1ª edição: 1992). Rio de Janeiro: Paz e Terra.

FREIRE, Paulo. Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

IBAMA/MMA. Pensando e praticando a educação no processo de gestão ambiental: uma concepção pedagógica e metodológica para a prática da educação ambiental no licenciamento. Brasília: Ibama, 2005.

LAYRARGUES, P.P. A Crise Ambiental e suas Implicações na Educação; QUINTAS, J.S (Org.). Pensando e Praticando Educação Ambiental na Gestão do Meio Ambiente. 2.ed. Brasília, Edições IBAMA,2002.

NÚCLEO DE COMUNICAÇÃO COMUNITÁRIA SÃO MIGUEL NO AR. Educomunicação em movimento. São Paulo, SP: Fundação Tide Setubal, 2012.

QUINTAS, José Silva. Introdução à Gestão Ambiental Pública. Brasília: Ibama, 2002.

REDE NACIONAL DE ADOLESCENTES E JOVENS COMUNICADORES (RENAJOC). Juventude e comunicação: faça você mesmo!

SOARES, Ismar de Oliveira. Educomunicação: um campo de mediações. Comunicação & Educação. São Paulo, 2000.

SOUZA, Marcelo Lopes de. Com o Estado, apesar do Estado, contra o Estado: os movimentos urbanos e suas práticas espaciais, entre a luta institucional e a ação direta. Cidades, Presidente Prudente, v. 7, n. 11, 2010.

VIRAÇÃO. Guia de Educomunicação: Conceitos e práticas da Viração. Disponível em: https://issuu.com/portfolio_viracao/docs/guia_educomunicacao>. Acesso em 20.jan.2020