

Estudi dels impactes a les característiques ambientals del camp de dunes de Cumbe a causa del Parc Eòlic Aracati (Cearà, Brasil)

Autora: Pla Pascual, Carla.

Tutor: Rossi Heras, Sergio

Llicenciatura de Ciències Ambientals, Universitat Autònoma de Barcelona, 2012

Paraules clau. *Àrea de Preservació Permanent, Energia Eòlica, Sistemes d'Informació Geogràfica, Dinàmica dunar.*

Resum: Un dels estats de Brasil amb major potencial eòlic és Cearà, que actualment representa un 55% del total de la potència eòlica instal·lada al país. La majoria dels parcs eòlics d'aquest estat es troben sobre camps de dunes, considerades Àrees de Preservació Permanent. La construcció de les instal·lacions dels parcs eòlics i les activitats de manteniment que es duen a terme durant la fase d'operació causen greus impactes en la dinàmica dels camps de dunes. És per aquest motiu que l'objectiu d'aquest estudi ha estat identificar els impactes i quantificar els canvis provocats en la dinàmica dunar des de la implantació del Parc Eòlic Aracati. L'investigació s'ha basat en la utilització de Sistemes d'Informació Geogràfica per tal d'obtenir dades de l'àrea total del camp de dunes i distàncies d'avançament de les dunes mòbils en diferents anys. Els resultats obtinguts mostren que l'activitat de manteniment del parc que més impacta en la dinàmica és la neteja de les vies d'accés, ja que hi ha una aportació extra de sorra sobre les dunes mòbils provocant un clar augment de la velocitat de propagació del camp de dunes. Pel que fa a l'activitat de fixació artificial de dunes, no s'han pogut obtenir resultats significatius per quantificar si la fixació artificial del camp de dunes afecta, o no, a la dinàmica dunar.

Resumen: Uno de los estados de Brasil con mayor potencial eólico es Ceará, que actualmente representa un 55% del total de la potencia eólica instalada en el país. La mayoría de los parques eólicos de este estado están situados sobre campos de dunas, consideradas Áreas de Preservación Permanente. La construcción de las instalaciones de los parques eólicos y las actividades de mantenimiento que se llevan a cabo durante la fase de operación causan graves impactos en la dinámica de los campos de dunas. Es por este motivo que el objetivo de este estudio ha sido identificar los impactos y cuantificar los cambios provocados en la dinámica dunar des de la instalación del Parque Eólico Aracati. La investigación fue basada en la utilización de Sistemas de Información Geográfica para obtener datos del área total del campo de dunas i distancias de avance de las dunas móviles en diferentes años. Los resultados obtenidos muestran que la actividad de mantenimiento del parque que más impacta en la dinámica es la limpieza de las vías de acceso, ya que hay un aporte extra de arena sobre las dunas móviles provocando un

claro aumento de la velocidad de propagación del campo de dunas. Por lo que se refiere a la actividad de fijación artificial de las dunas, no se han podido obtener resultados significativos para cuantificar si la fijación artificial del campo de dunas afecta, o no, en la dinámica dunar.

Abstract: Ceará is one of the states with the highest wind potential in Brasil. Nowadays it represents the 55% of the total wind power capacity installed in the country. Most of the wind farms of this state are constructed in the middle of sand dune areas, which are defined as Area of Permanent Preservation. Many serious impacts on the dynamics of sand dunes are caused by the construction and maintenance activities during the operational phase of wind power plants. For that reason the objective of this project is to identify the impacts and quantify the changes made on the dynamic of sand dunes since the installation of the wind farm Aracati. The research was based on the data provided by the Geographic Information System (GIS) in order to obtain the total sand dune area and advance distances of dynamic dunes during a period of various years. The obtained results show that the maintenance activity on a wind farm which affects the dynamic of the sand dunes the most is the road cleaning. It is because, during the activity of road cleaning, an extra contribution of sand is given to the dynamic dunes and it is causing a clear increase on the total sand dune area. Related on the artificial fixation of dunes, it has not been possible to obtain significant results to quantify if artificial fixation of dune areas really affects the dynamics of the dunes.

1. INTRODUCCIÓ

L'energia eòlica, com la resta d'energies renovables, està experimentant un important creixement mundial. Brasil, tot i haver començat més tard que altres països en invertir en aquest tipus d'energia, actualment s'està afegint a aquest ràpid creixement.

Un dels estats de Brasil amb major potencial eòlic és Ceará, que actualment representa un 55% del total de la potència eòlica instal·lada a tot el país, la qual és generada, principalment, per parcs eòlics situats en camps de dunes del litoral.

La implantació de parcs eòlics sobre camps de dunes és una proposta molt nova que va començar al nord-est de Brasil el 1999, a Ceará. Aquests projectes han

comportat polèmica per part de científics i habitants de les comunitats pròximes a aquestes zones. Un dels principals motius d'aquestes queixes ha estat que els camps de dunes són considerats, per llei, Àrees de Preservació Permanent, i per tant estan, teòricament, protegits pels seus recursos hídrics, el paisatge, l'estabilitat ecològica, la biodiversitat i la protecció del sòl.

Els parcs eòlics instal·lats sobre camps de dunes causen tant impactes ambientals com socioambientals. Aquest fet es deu a que els canvis provocats en el medi impliquen la modificació dels ecosistemes que l'envolten, dels quals depèn la vida quotidiana de les comunitats veïnes.

Estudis com els del professor J. Meireles, descriuen que un dels impactes més significatius sobre el camp de dunes va ser el canvi de la dinàmica dunar, provocat pels grans moviments de sorra i la posterior fixació artificial. Descriu també que aquesta alteració pot provocar una fragmentació de les interrelacions d'aquest ecosistema amb els sistemes fluvio-marins i la platja. Tot i l'existència d'estudis que descriuen els impactes durant la fase de construcció del parc eòlic, cal remarcar que en aquests no es quantifiquen.

Per portar a terme aquest projecte s'ha escollit com a àrea d'estudi el camp de dunes on està instal·lat el Parc Eòlic Aracati, pròxim a la comunitat de Cumbe. Aquesta instal·lació es troba en funcionament des de fa dos anys, i la seva llicència d'operació és de 20 anys. Les activitats de manteniment de les instal·lacions del parc segueixen contribuint al canvi en la dinàmica de les dunes. A més, la presència dels aerogeneradors és una barrera per l'avanç dels sediments que, juntament amb les activitats de manteniment del parc, seguiran influenciant en la dinàmica dunar. Tot i així, encara no es coneix a quin ritme estan tenint lloc aquestes variacions.

Per aquests motius exposats anteriorment, l'objectiu d'aquest article és estudiar com s'ha vist modificada la dinàmica dunar des de la implantació del parc eòlic. En primer lloc, descrivint les activitats de manteniment del parc eòlic durant l'etapa d'operació, que fan modificar la dinàmica del camp de dunes. En segon lloc, realitzar un

estudi de l'evolució de l'àrea total del camp de dunes d'anys anteriors i posteriors al començament de les obres d'instal·lació. En tercer lloc, identificar les zones on la dinàmica dunar, en el límit del camp de dunes amb la resta d'ecosistemes, és major per tal de comprendre els processos que influeixen en la dinàmica dunar. En quart lloc, quantificar el moviment individual de les dunes afectades i les dunes control per tal de comparar-lo. Finalment, analitzar i quantificar quines són les conseqüències de la fixació artificial de les zones del camp de dunes properes a les instal·lacions del parc eòlic.

2. METODOLOGIA

Per tal d'assolir l'objectiu de l'anàlisi de l'evolució de l'àrea total, es va escollir la zona d'estudi corresponent a l'àrea total del camp de dunes mòbils del municipi d'Aracati, Ceará-Brasil. Aquest està format per dunes mòbils, llacs interdunars i una depressió de deflació. Es troba limitat al nord per la desembocadura del riu Jaguaribe; a l'oest per la plana fluvio-marina d'aquest riu, en la que s'hi troben manglars, dunes fixes, la comunitat de Canaviera i la comunitat de Cumbe; al sud per la comunitat de Canoa Quebrada i l'altiplà costaner i a l'est pel mar.

Per altra banda, per tal de poder estudiar la dinàmica dunar en el límit del camp de dunes, la velocitat de les dunes mòbils i les conseqüències de la fixació artificial, va ser necessària la selecció d'una nova àrea d'estudi més específica i menys extensa per tal de poder obtenir resultats més exhaustius. Aquesta àrea correspon a una zona del camp

de dunes on els aerogeneradors estan tots situats sobre dunes mòbils, i és propera a les comunitats de Cumbe i Canavieira. És on es troba situada la unitat III – Enacel del parc eòlic Aracati. Aquesta àrea es troba delimitada: al nord, pel límit entre la unitat III i les unitats II i I del parc eòlic; a l'est, per la depressió costanera de deflació; i al sud i a l'oest per urbanització i la plana fluvio-marina. Cal destacar que dintre d'aquesta àrea d'estudi queden excloses les dunes fixes ja que l'objectiu és analitzar els canvis en la dinàmica dunar.

a. Descripció de les activitats de manteniment

Per tal de descriure els impactes durant la fase d'operació del parc eòlic, va ser necessària una visita guiada per les instal·lacions de la unitat III del Parc Eòlic Aracati on es van observar i identificar els impactes.

b. Anàlisi de l'evolució de l'àrea total del camp de dunes mòbils

A l'hora d'estudiar els canvis en la dinàmica general del camp de dunes mòbils es va crear un gràfic evolutiu de l'àrea total de dunes mòbils al llarg dels anys. Per tal d'obtenir aquests valors de l'àrea els diferents anys es va realitzar un mapa a partir de Sistemes d'Informació Geogràfica, on s'observa l'evolució del camp de dunes al llarg dels anys.

Per realitzar el mapa es van utilitzar imatges d'una base de dades, en format ràster, del satèl·lit Landsat 5 dels anys: 1988, 1992, 1999, 2003, 2006, 2008, 2009, 2010 i 2011 (taula 1).

Un cop obtinguts els ràsters es va digitalitzar l'àrea total del camp de dunes mòbils de cada imatge satèl·lit amb el programa *ArcGis 10*, obtenint així un fitxer vectorial de polígons per cada un dels 9 anys.

Un cop obtinguts els fitxers vectorials de cada any, corresponents a la digitalització de l'àrea d'estudi, es va realitzar una composició dels polígons creats, obtenint així un mapa d'evolució.

Finalment, a partir de les àrees obtingudes de cada any dels polígons, es va realitzar el gràfic evolutiu de l'àrea del camp de dunes mòbils amb el programa *Microsoft Office Excel*.

c. Anàlisi de la dinàmica dunar en el límit del camp de dunes

Per tal de poder tenir una visió més exhaustiva i fer una anàlisi de les zones on la dinàmica dunar és major, es va crear un mapa de degradació evolutiva.

Aquest mapa va ser elaborat combinant tots els polígons, creats per l'elaboració del mapa de la dinàmica general, en un únic fitxer. El resultat va ser la superposició vectorial de totes les capes, aconseguint així que cada nou polígon tingués un nou atribut que descrivia si era duna o no en cada un dels anys.

d. Anàlisi de la velocitat de les dunes mòbils

Per tal d'assolir l'objectiu plantejat es va elaborar un gràfic de velocitats anuals de tres dunes afectades comparant-les amb tres dunes control.

En primer lloc es van escollir tres dunes control, que representen la dinàmica natural de les dunes individuals, i tres dunes afectades per l'aportació extra de sorra durant les activitats de manteniment del parc eòlic.

Les imatges satèl·lit utilitzades en aquest cas es van obtenir del *Google Earth* i corresponien als anys: 2003, 2006 i 2010. Com que només es tenien dades d'un any després de la implantació del parc eòlic, es va decidir obtenir dades del 2012 a partir de la marcació, amb punts GPS, d'on es troba ubicada la duna actualment.

Amb el programa *ArcGis 10*, es van digitalitzar les sis dunes els quatre anys. El resultat va ser l'obtenció de sis mapes (un per cada duna) que contien els quatre fitxers vectorials (polígons) digitalitzats de cada any.

A partir dels quatre polígons d'una mateixa duna, es van fer càlculs amb el programa *ArcGis 10* de la distància que avançava cada duna entre any i any digitalitzat.

Finalment, amb el programa *Microsoft Office Excel*, a partir de les distàncies obtingudes, es van realitzar els càlculs de les velocitats mitjanes per cada any i es van crear els gràfics velocitat/temps per cada tipus de duna.

e. Anàlisi de les conseqüències de la fixació artificial

Per tal de poder fer una anàlisi de les conseqüències de la fixació del camp de dunes s'ha realitzat un càlcul dels metres que

una duna augmenta en alçada, per tal de saber la mitjana de creixement vertical anual.

Per tal de poder calcular l'alçada de les tres dunes es va fer servir el teorema de Pitàgores.

Per obtenir l'altura de la duna (C1) en el seu punt més alt es va calcular inicialment la base i la hipotenusa. La base es va obtenir a partir de la digitalització de la duna amb punts GPS cada 40 metres, i un cop introduïdes les dades al programa *ArcGis 10* es van extreure les distàncies corresponents a la base en el punt on la duna tenia una alçada màxima; mentre que la hipotenusa va ser calculada al camp mitjançant una cinta mètrica.

Un cop obtingudes les dades de la base i la hipotenusa corresponents a les tres dunes mòbils es va poder calcular l'alçada de les dunes en el seu punt més alt l'any 2012.

Segons un dels tècnics de manteniment del parc eòlic (*com. verb.*), el 2009 es van fixar per primer cop les zones properes a les instal·lacions del parc eòlic. Tenint en compte aquesta data, es va poder calcular els metres anuals que augmenten en vertical les dunes fixades.

2.1. Limitacions

- Les imatges satèl·lit *Landsat* tenen una resolució de 30 metres. Aquest fet va comportar que la marcació de la separació entre dunes mòbils i depressió de deflació amb la resta d'ecosistemes no fos exacta.
- A l'hora de digitalitzar, tot i que els criteris estaven ben definits, al ser tres persones que digitalitzen es poden

generar errors a l'hora de marcar els límits.

- En el cas dels mapes, tot i utilitzar el fus UTM i el Datum correcte, el mateix programa et definia un error en la georeferenciació de 0,7.
- Les imatges del satèl·lit Landsat 5 utilitzades van ser preses en diferents períodes de l'any, sent unes en període humit i les altres en període sec. Aquest fet pot provocar modificacions en l'àrea total del camp de dunes que no han sigut considerades.
- El difícil accés a la base de dades brasileres, ha fet impossible obtenir dades de precipitació que, en el cas d'haver-les pogut aconseguir, haurien fet possible extreure uns resultats més fiables, ja que es podria comparar la dinàmica de dunes amb els períodes de precipitació.
- A l'hora de realitzar la marcació amb el GPS es genera un error intrínsec de 3 metres.

3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

a. Descripció de les activitats de manteniment

Els impactes identificats provocats per les activitats de manteniment del parc eòlic són:

- Aportació extra de sorra a dunes mòbils: A causa del constant moviment de les dunes, els camins que es troben a dins del parc eòlic són coberts diàriament per sorra que impedeix el pas dels vehicles de manteniment i monitorament. Aquesta sorra és extreta dels camins i

transportada en la mateixa direcció de la que procedia amb ajuda de màquines. Aquest fet fa que s'aporti un volum extra de sorra a les dunes mòbils situades al costat oest de les vies d'accés.

- Fixació de zones properes a les instal·lacions del parc: Es fixen amb vegetació aquelles zones que es troben situades a l'est dels camins i dels aerogeneradors per tal d'impedir que l'avanç de la sorra faci malbé aquestes instal·lacions. A mesura que passa el temps, degut a que la dinàmica dunar continua el seu procés, aquesta vegetació queda de nou coberta per sorra. Per evitar que aquesta sorra avanci, es cobreix amb nova vegetació la zona, creant així dunes compostes per capes successives de vegetació
- Compactació del sòl: El pas constant de vehicles per les vies d'accés del parc eòlic contribueix a l'augment de la compactació del terreny.

b. Anàlisi de l'evolució de l'àrea total del camp de dunes mòbils

El primer resultat obtingut amb la metodologia utilitzada per analitzar la dinàmica general del camp de dunes mòbils es pot observar en el gràfic de la figura 1, on es mostra l'evolució de l'àrea total en hectàrees del camp de dunes des de l'any 1988 a l'any 2011.

Del 1988 al 2006 es pot definir una tendència natural en la dinàmica dunar, ja que durant aquests anys no va existir una pertorbació antropològica directa. En aquest període de temps s'observa com l'àrea total

del camp de dunes mòbils al principi tendeix a augmentar per després disminuir. Aquestes fluctuacions naturals són degudes a variacions en la dinàmica sedimentar, condicionades directament per factors climàtics com: precipitació, insolació i velocitats del vent.

Així doncs, s'observa que de l'any 1988 al 1999 l'àrea del camp de dunes mòbil tendeix a augmentar, degut a un clar avançament de les dunes mòbils sobre la plana fluvio-marina. Aquest avançament es veu condicionat per velocitats del vent altes, una baixa precipitació i una elevada insolació. Per altra banda, s'observa que de l'any 1999 al 2006 l'àrea total del camp de dunes mòbils tendeix a disminuir. Aquest fet pot ser degut a un augment de la precipitació anual i, conseqüentment, una disminució de la velocitat del vent. Aquests dos factors provoquen que nova vegetació pugui créixer en zones de dunes mòbils passant a ser dunes fixes. Sumat a aquest fet, també es pot considerar que a l'haver-hi més precipitació, el cabal del riu augmenta fent que aquest cobreixi més zona de dunes, disminuint així la seva àrea.

Per altra banda, a partir del 2008, s'observen uns valors d'àrees total del camp de dunes afectats directament per les accions de construcció i manteniment del parc eòlic. Durant aquest període s'observa que la tendència del camp de dunes mòbils és a augmentar i disminuir, però en aquest cas d'una forma molt més ràpida en comparació amb la tendència natural d'anys anteriors.

Així doncs, s'observa que l'àrea total del camp de dunes mòbils augmenta de forma molt considerable l'any 2008, arribant al seu pic més alt a l'any 2009. Aquest fet pot ser degut a que, durant la construcció del parc, hi va haver una major dinàmica dels sediments a conseqüència del moviment de terres i anivellacions morfològiques. Per altra banda, podem observar que a l'any 2010 hi ha una ràpida disminució de l'àrea, el motiu de la qual pot ser degut a la immobilització de les dunes i la construcció de vies d'accés amb materials que compacten el terra.

Finalment, s'observa que a partir de l'any 2010, quan va començar el funcionament del parc eòlic, l'àrea total del camp de dunes mòbils torna a augmentar.

c. Anàlisi de la dinàmica dunar en el límit del camp de dunes

El resultat corresponent a la dinàmica dunar en el límit del camp de dunes es pot observar en el mapa de la figura 2. L'àrea amb el color més fosc representa aquella zona que ha estat ocupada per dunes mòbils tots els anys. A mesura que el color es va degradant indica que aquelles zones han estat ocupades per dunes mòbils menys anys.

Observant la frontera de separació, es poden apreciar zones on la dinàmica dunar és més elevada i altres on el camp de dunes es manté pràcticament immòbil al llarg dels anys. Aquelles zones on el moviment de les dunes és major, el vent (procedent de l'est-suddest) bufa perpendicular a la línia de contacte entre els dos ecosistemes, mentre que aquelles zones a on el vent no bufa de

forma perpendicular el moviment és pràcticament inexistent.

d. Anàlisi de les velocitats de les dunes mòbils

La relació de velocitats obtingudes tant per les dunes control com per les afectades es pot observar a la taula 3.

En primer lloc, pel que fa a la dinàmica de les dunes control, es representa en el gràfic de la figura 3 l'evolució de la velocitat d'avançament des de l'any 2003 al 2012. En el gràfic es pot observar com és la dinàmica individual del moviment de les dunes sense ser alterades per causes antròpiques. Les tres tendències lineals resultants presenten valors significatius ja que les seves R^2 donen valors superiors a 0,7. El pendent de la recta de tendència en els tres casos és negatiu, fet que determina que, de l'any 2003 al 2012, la velocitat d'avançament de les dunes tendia a disminuir a mesura que passaven els anys. Això pot ser degut a una menor velocitat del vent, menys aportació de sediments procedents de la platja i una major precipitació, que fa que els sediments avancin més lentament.

En segon lloc, pel que fa a la dinàmica de les dunes afectades, es representa en el gràfic de la figura 4. En aquest cas, les tres rectes de tendències no es poden considerar com a vàlides ja que presenten una R^2 inferior a 0,7, aquest fet és a causa de les activitats de manteniment del parc, que alteren la tendència lineal natural del moviment de les dunes. Podem observar que les dunes mòbils segueixen la mateixa tendència de moviment que les dunes control

fins l'any 2009. És a partir del 2010 quan la velocitat de les dunes mòbils tendeix a augmentar, a diferència de les dunes control en les que segueix disminuint la seva velocitat. Per tant, es pot considerar que les dunes mòbils estan patint una acceleració de la seva dinàmica natural des de l'any 2010, moment en el que el parc va entrar en operació. Aquest fet corrobora la idea de que la velocitat d'avançament de les dunes que es troben afectades pel parc eòlic augmenta a causa de les activitats de manteniment durant la fase d'operació del parc, ja que se'ls aporta sediments extres provinents de la sorra acumulada en els camins.

Per altra banda, es pot observar que a les dunes mòbils 1 i 2 l'any 2010 arriba a unes velocitats molt superiors a les registrades anteriorment, mentre que la duna 3, tot i augmentar la seva velocitat a partir de l'any 2010, presenta velocitats inferiors a les registrades en anys anteriors. Aquesta diferència es deguda a la situació de les tres dunes a l'àrea d'estudi. A les dunes 1 i 2 es poden observar les conseqüències directes de l'aportació extra de sediments ja que estan situades més pròximes a les vies d'accés. En canvi, la duna 3, a l'estar més allunyada del parc, també augmenta la seva velocitat però d'una forma no tant accentuada.

e. Anàlisi de les conseqüències de la fixació artificial

Els resultats obtinguts pel que fa a l'anàlisi de la dinàmica de les dunes fixades els podem observar a la taula 4.

A partir de les dades obtingudes, es pot observar a quin ritme de creixement vertical es creen les dunes com a conseqüència de la fixació dels sediments. Segons aquestes, s'observa que la duna més alta arriba a una alçada de quasi 11 metres i la més baixa a 3 metres. Aquesta diferència pot ser deguda a la localització de les dunes i a que la duna fixada 1 (la més alta) va començar a ser fixada abans que les altres dues.

Si es realitza la mitjana entre les velocitats de creixement de les tres dunes fixades, s'obté un creixement de 2,31 metres/any. Tenint en compte que el parc eòlic té una llicència d'activitat per 18 anys més, en el cas que es seguís fixant la duna i es deixés créixer al ritme que ho està fent ara, al 2030, s'arribaria a tenir dunes d'una alçada d'uns 41,5 metres. Com que aquest fet és inviable i causaria molts problemes al parc eòlic, possiblement el que es transportarà la sorra acumulada a les dunes fixades cap a les dunes mòbils del seu davant (en la direcció del vent), fent que s'acceleri encara més la dinàmica dunar.

4. CONCLUSIONS

Si es realitza una anàlisi global dels resultats obtinguts sobre la dinàmica del camp de dunes, es pot observar que la tendència natural d'aquest, abans de la implantació del parc eòlic, era disminuir (tal i com es pot observar en el gràfic de la figura 1 i el gràfic de la figura 3). Però és a partir de la instal·lació d'aquest parc que s'observa una alteració en la dinàmica dunar, fent que en comptes de disminuir la seva velocitat de

propagació, comenci a augmentar degut a les activitats de manteniment. Es considera com a més impactant l'aportació extra de sorra a les dunes mòbils i passa en segon pla la fixació de sorra, ja que aquest impacte, als resultats, no ha donat valors significatius.

En conclusió, s'han obtingut resultats que indiquen que les activitats de manteniment representen una clara pertorbació sobre l'ecosistema, fent augmentar la velocitat de propagació del camp de dunes. Aquest fet pot perjudicar tant ambientalment com socialment. Per una banda, l'alteració de la dinàmica del camp de dunes pot provocar conseqüències negatives pels sistemes ambientals que es troben associats a ell, i per l'altra, les cases més pròximes al camp de dunes es quedaran soterrades abans que si es deixés seguir la dinàmica dunar al seu ritme. Finalment, els resultats obtinguts no mostren evidències clares de que la compactació i la fixació del camp de dunes generi reduccions en la dinàmica de l'ecosistema. Per tant, es creu que aquesta pertorbació s'hauria d'estudiar més profundament seguint altres metodologies per poder concloure si realment la compactació i fixació artificial tenen, o no, conseqüències.

S'ha de tenir en compte que els impactes de la instal·lació del parc eòlic a llarg termini encara no s'han pogut reflectir en aquest estudi degut a que fa només dos anys que el parc està en operació. Per aquest motiu, els resultats obtinguts sobre els canvis en la dinàmica dunar s'haurien de completar amb posteriors estudis.

Per tal de completar els resultats obtinguts hagués estat interessant realitzar estudis sobre els potencials impactes que la presència del parc eòlic provoca en l'avifauna i els aqüífers de la zona, però al disposar de poc temps i pocs recursos no ha estat possible. Per altra banda, també seria important quantificar els fluxos energètics que interaccionen entre el camp de dunes i la resta d'ecosistemes ja que, si aquests es veuen afectats, suposarà un gran impacte a la biodiversitat de la zona.

Cal recalcar també que, per tal d'aprovar una llicència d'instal·lació de parcs eòlics, les empreses constructores només presenten justificatives locacionals, tot i que per llei se'ls obliga a incloure una avaluació d'alternatives locacionals. Així doncs, en aquestes justificatives locacionals es raona perquè la zona escollida per la instal·lació és el millor indret a on es pot implantar una activitat d'aquest tipus, i no es valora la possibilitat de traslladar-les a altres llocs. Els parcs eòlics podrien ser implantats a altres zones que no fossin APP, com és el cas dels altiplans o zones ambientalment ja degradades. Però aquestes opcions no són contemplades per les empreses constructores perquè lògicament el pressupost és més baix quan es construeix a zones que no són de ningú: com el cas del camp de dunes de Cumbe.

Per últim, si es fa referència a la situació del camp de dunes un cop acabi la vida útil del parc eòlic, podem definir que els impactes produïts sobre la dinàmica del camp de dunes són severs, ja que pot existir una

recuperació de l'ecosistema si s'apliquen mesures correctores intensives i passat força temps un cop finalitzada l'activitat.

En conclusió, el cas de l'energia eòlica a Cumbe és un exemple més de conflicte ambiental, on el sector privat ven un suposat progrés i creixement a zones més susceptibles i menys desenvolupades.

El desenvolupament de la indústria de l'energia eòlica ha generat, i segueix generant, grans debats sobre els costos i beneficis socials i ambientals. Estem davant d'un conflicte de racisme ambiental a on les comunitats més vulnerables pateixen desproporcionadament la pressió de la degradació ambiental i la pèrdua d'accés als recursos i serveis ambientals. El racisme ambiental és una violació dels drets humans i és segons Alfredo Seguel:

“una forma de discriminació causada per governs i polítiques del sector privat, que intencionalment o no, atempten contra l'ambient, la salut, biodiversitat, l'economia local, la qualitat de vida i la seguretat en comunitats”.

Les energies renovables segueixen la lògica del desenvolupament sostenible i ajuden a la reducció de les emissions de gasos d'efecte hivernacle, contribuint així a la disminució dels impactes globals. Però les conseqüències de la reducció d'aquests impactes globals són la creació de nous impactes locals, centrats en petites comunitats excloses d'aquest afany per

créixer. La indústria de les energies renovables creix sota el concepte de “desenvolupament sostenible” i “energia neta”, i a la vegada està perjudicant i impactant a aquelles comunitats que, sense tenir molt present aquest concepte, l'apliquen molt millor. Es pretén créixer sosteniblement trepitjant el creixement sostenible dels altres. Si estem disposats a viure en aquesta eterna hipocresia, com a mínim, s'haurien d'avaluar les alternatives locacionals i considerar els interessos de tots, no només d'uns quants.

AGRAÏMENTS

Aquest projecte no hagués estat possible sense el suport incondicional de tantes persones que ens han acompanyat i assessorat durant aquests mesos de treball i aventura.

A Martí Boada, per ajudar-nos i assessorar-nos a l'hora de realitzar el projecte final de carrera a l'estranger.
A Sergio Rossi, com a tutor del projecte, perquè sense ell no s'hagués fet realitat aquesta experiència. Per ajudar-nos en l'elaboració de la memòria, dedicar-nos el seu temps i per motivar-nos a seguir el nostre aprenentatge en el camp de la investigació.

A Luciana Queiroz, per facilitar-nos l'arribada a Brasil proporcionant-nos contactes. Per l'ajuda en la definició del nostre projecte tot i la distància.

A Jeovah Meireles, el nostre tutor a Brasil, per la seva dedicació incondicional. Per les infinites reunions al

seu despatx oferint-nos els seus coneixements i guiant-nos en la definició dels nostres objectius. Per presentar-nos els seus becaris del Labocart i per ajudar-nos a dinamitzar la burocràcia brasilera.

A Marcelio, becari en el laboratori Labocart, per ajudar-nos en tot el que estava a les seves mans. Per oferir-nos coneixements i assessorament en *Sistemes d'Informació Geogràfica*, facilitar-nos l'accés a dades i mapes i ajudar-nos a definir les línies d'actuació del nostre projecte. Per la paciència a l'hora de comunicar-nos, per ensenyar-nos l'idioma, i per donar-nos l'oportunitat de conèixer persones increïbles.

A Filipe, becari en el laboratori Labocart, per col·laborar en la realització d'alguns mapes i per oferir-nos ajuda incondicional en tot moment.

A Alaitz Zabala, per l'infinit suport que ens va oferir en l'elaboració dels mapes.

A Vieira, tècnic de Bons Ventos, per facilitar-nos el contacte amb l'empresa i guiar-nos per les instal·lacions del parc eòlic.

A Deborah, tècnica de medi ambient de Bons Ventos, per oferir-nos totes les informacions i mapes que estaven a la seva disposició.

Als amics de la *Universitat Federal do Ceará*, per l'acolliment i la dedicació, perquè amb ells ens sentíem com si estiguéssim a casa. Per obrir-nos les portes a les seves vides i a les seves tradicions.

A Cacau, per brindar-nos la oportunitat de poder conèixer racons de Brasil. Pels moments i les experiències viscudes amb ell. Per ajudar-nos a reforçar el nostre interès en l'àrea de la geografia. Pel seu suport, força i positivisme.

A Tiago, per la rebuda i atenció sense demanar res a canvi. Per ser el nostre traductor oficial i ensenyar-nos la seva ciutat. Perquè gràcies a ell ens vam estalviar moltes dificultats.

Als *moradores do Cumbe*, per obrir-nos les portes de casa seva i oferir-nos tot el que tenien sense demanar res a canvi. Per ensenyar-nos una altre forma de vida i demostrar-nos quins son els valors més importants.

A Edite i la seva família, per compartir el dia a dia, per ajudar-nos en tot moment fent més fàcils les dificultats. Gràcies per fer-nos sentir casa vostra com casa nostra.

A João, líder de la comunitat, que tot i no haver estat present durant la nostra estància, hem pogut tenir l'oportunitat d'escoltar les seves idees i experiències relacionades amb la comunitat. Gràcies per oferir-nos tots els teus coneixements i ajudar-nos a entendre el conflicte una mica millor.

A Correia, pel seu interès i ajuda en el nostre projecte. Per mimar-nos i fer-nos sentir com a casa.

Als nostres amics de Cumbe, per ensenyar-nos a viure. Als de la *Barraca Por do Sol*, Leo, Siron i Laesio, per acollir-nos dia rere dia entre aigües de

coco, cerveses i riures. A Neto, per oferir-nos l'oportunitat de conèixer una mica més aquell petit paradís. A Priscila, Estafani i Victor, els nostres professors de ball, gràcies per les hores invertides. A la família del Sitio, pel seu acolliment i generositat. A Suzi, la gossa de la família, per acompanyar-nos a tot arreu i ser la nostra guardiana.

Als nostres amics amb els que hem compartit els ideals que ens han fet arribar fins aquí. Gràcies per donar-nos forces i valentia.

A les nostres famílies, per deixar-nos volar i suportar la distància amb un somriure a la cara.

I sobretot, a cada una de nosaltres, per fer d'això una experiència inoblidable, per superar els obstacles, per complementar-nos i per enriquir-nos.

I finalment a Brasil, pel seu paisatge i naturalesa incomparables que ens han contagiats per sempre.

Per vosaltres tot això i molt més!

BIBLIOGRAFIA

- ABEEÓLICA (ASSOCIACIÓN BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA). (2011). "Análise do marco regulatório para a geração eólica no Brasil". *Relatório de Síntese*.
- ALCÂNTARA, A. O. (2009). "A energia eólica no estado do Ceará – A farsa da energia limpa ou da (im)prescindibilidade de EIA/RIMA em zona costeira". Publicat al *Livro de teses do XVIII Congresso nacional do Ministério Público: o*

- Ministério Público como fator de redução de conflitos e construção da paz social. ACMP. Porto Alegre: Magister, Novembro de 2009.*
- AQUASIS – ASSOCIAÇÃO DE PESQUISA E PRESERVAÇÃO DE ECOSISTEMAS AQUÁTICOS (2003). "A Zona Costeira do Ceará: diagnóstico para a gestão integrada". Coordenadores: Alberto Alves Campos [et al.]. Fortaleza: AQUASIS. 248 pág.
- BROWN, K. B. (2011). "Wind power in northeastern Brazil: Local burdens, regional benefits and growing opposition". Revista: *Climate and Development*; vol. 3, n. 4, p. 344-360
- CAMARGO-SCHUBERT. (2001) "Atlas de Potencial Eólico Brasileiro". *Ministerio de Minas y Energía*. 2001.
- CARVALHO NETA, M.L. (2007). "Evolução geomorfológica atual e análise ambiental da foz do rio Jaguaribe, Ceará". Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- DAILY, G.C. (1997). "Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems". Washington D.C.: Island Press.
- ESRI (2006). "Tutorial Arc Map, ArcGis 9". *Sistemas d'Informació Geogràfica*.
- FONTENELLE, R. E. E DALTRO DE SOUZA, S.. (2006). "A energia eólica do Ceará e o mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto".
- FREIRE PINTO, MARCIA (2009). "Aspectos etnobiológicos na comunidade Sítio Cumbe às margens do estuário do rio Jaguaribe - Aracati – CE". Fortaleza.
- GSÄNGER, S. AND PITTELOUD, J. D.. (2012) "Report 2011". *WWEA (World Wind Energy Association)*.
- GWEC (GLOBAL WIND ENRGY COUNCIL) (2011). "Global Wind Report. Annual market update".
- ICEX (INSTITUTO ESPAÑOL DE COMERCIO EXTERIOR). (2008) "Informes sectoriales. El sector de las energías renovables en Brasil". *Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Brasila*.
- IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (2011). "Perfil básico municipal de Aracati".
- JOHN R. MCNEILL. (2000). *Algo nuevo bajo el sol. Historia medioambiental del mundo en el siglo XX*. Alianza editorial.
- KORMAN (1992). Citat per AIGNEREN (2000). "La técnica de recolección de información mediante grupos focales". Article publicat a CEO, Revista Electrónica núm. 7. Medellín.
- LAGE, A. C. E BARBIERE, J. C.. (2001). "Avaliação de projetos para o desenvolvimento sustentável: Uma análise do projeto de energia eólica do Ceará com base nas dimensões da sustentabilidade".
- LIMA, M. DO C. (2002). "Comunidades pesqueiras marítimas no Ceará: território, costumes e conflitos". Tese (Doutorado) – FFLCH/USP. São Paulo.
- MANOEL, J., VALENÇA DOS SANTOS, M., CARNEIRO FEITOSA, E. (1999). "Estudo Hidrogeológico da área de captação de Aracati no Sítio Cumbe". FADE (Fundação para o desenvolvimento da universidade federal de Pernambuco),

- LABHID (Laboratório de hidrogeologia). Recife.
- MEIRELES J. E ROMERO, P. (1999). "Geomorfologia litoral: una propuesta metodológica sistemica en la llanura costera de Ceara, nordeste de Brasil". Revista de Geografía. Fortaleza.
- MEIRELES, J. A. SILVA, E.V. I LOPES, P.R. (2006). "Os campos de dunas móveis: fundamentos dinâmicos para um modelo integrado de planejamento e gestão da Zona costeira". GEOUSP – Espaço e tempo. São Paulo.
- MEIRELES, J.A. (2008). *Impactos ambientais promovidos pela implantação e operação de usinas eólicas em áreas de preservação permanente (APP's) – Os campos de dunas fixas e móveis da planície costeira do Cumbe, Município de Aracati*. Imprês, Fortaleza.
- MEIRELES, J.A. (2009). "Diagnóstico ambiental e alternativas locais para as usinas eólicas [CGE RM Cangalha e CGE RM Boqueirão] projetadas em áreas de preservação permanente na planície costeira de Camocim/CE". Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- MEIRELES, J. A. (2011). "Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos campos de dunas do Nordeste brasileiro e critérios para definição de alternativas locais". Revista Franco-Brasileira de Geografia: Confins [online]; 11| 2011: número 11. URL: <<http://confins.revues.org/6970>>.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT – MA (2005). "Ecosystems and Human well-being: wetlands and water Synthesis". World Resources Institute. Washington, DC.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT – MA (2010). "Servicios de los ecosistema y bienestar humano: La contribución de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio".
- PPRA – PROGRAMA DE PROSPECÇÃO E RESGATE ARQUEOLÓGICO DAS USINAS DE ENERGIA EÓLICA UEE BONS VENTOS, UEE ENACEL E UEE CANOA QUEBRADA, MUNICIPIO DE ARACATI (2009). "Arqueologia nas Dunas, o pasado de Canoa Quebrada e Cumbe". Ceará, Fortaleza.
- QUEIROZ, L. S. (2007). "Na vida do Cumbe há tanto mangue. As influências dos impactos socioambientais da carcinicultura no modo de vida de uma comunidade costeira". Universidade Federal do Ceará, PRODEMA, Fortaleza. 2007.
- RATTS, ALECSANDRO (2002). "A "fábula das três raças" no Vale do Jaguaribe". In: Propostas Alternativas: Vale do Jaguaribe Natureza e Diversidade Cultural – II, nº 7. Fortaleza: IMOPEC.
- RELATÓRIO AMBIENTAL SIMPLIFICADO – RAS (2002). "Projeto de implantação do parque eólico Aracati, Ceará". Fortaleza, Ceará.
- SANTOS DUARTE, P. et al. (2006) "Aspectos do Impacto Ambiental dos Parques Eólicos". Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). Núcleo Tecnológico de Energia e Meio Ambiente (NUTEMA).

- SANTOS, ANA MARIA FERREIRA DOS (2008). "Zoneamento geoambiental para uma gestão planejada e participativa: planície costeira do Município de Icapuí/CE". Dissertação (maestrado). Universidade Federal do Ceará. Centro de ciencias. Departamento de geografia. Fortaleza.
- SEAN WHITTAKER. (2011). "Development banks increasingly drive wind investment in emerging markets". Dins: *Global Wind Energy Council*.
- SHIAVON, F.. (2009). "Bons Ventos diz que obras não estão suspensas". Publicat a: *Consultor Jurídico*; URL: <www.conjur.com.br>.
- SÍGOLO, J. B. (2000). "Processos eólicos a ação dos ventos". Fortaleza.
- SILVA BARBOSA, M. E. (2004). "Aracati (CE) no período colonial: espaço e memória". Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.
- VIANA, V.P; SANTOS JÚNIOR, V., (2008). *Estúdios arqueológicos na área de intervenção das usinas de energia eólica UEE Bons Venots 50 MW, UEE Canoa Quebrada 57 MW e UEE Enacel 31,5 MW, Município de Aracati – Ceará, Etapa I – prospecção. Volume I Diagnóstico. – Informe presentat al Instituto do Patrimônio Histórico Nacional (IPHAN) i a Bons Ventos Geradora de Energia S/A., 135p.*
- Páginas web**
- "Aracati historico no seculo XVII"
<<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/ceara/aracati.pdf>>
- BONS VENTOS GERADORA DE ENERGIA S/A.; última modificació: 2010.
<www.bonsventos.eng.br>
- CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. (2003). Atlas digital dos Recursos Naturais do Estado do Ceara.
<<http://www.cprm.gov.br/>>
- FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS.
<<http://www.funceme.br>>
- IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÓMICA DO CEARÁ
<<http://www.ipece.ce.gov.br/>>
- SRH – SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS.
<<http://www.srh.ce.gov.br/>>
- THE WIND POWER. *World and continents capacity*. 2012.
www.thewindpower.net

TAULES

Taula 1. Imatges satèl·lit utilitzades per l'extracció de dades especials i definició de l'àrea d'estudi.

Data	Satèl·lit	Bandas	Resolució	Composició
07/09/1988	Landsat 5	1 a 7	30 m	5R, 4G, 3B
14/06/1992	Landsat 5	1 a 7	30 m	5R, 4G, 3B
06/02/1999	Landsat 5	1 a 7	30 m	5R, 4G, 3B
15/07/2003	Landsat 5	1 a 7	30 m	5R, 4G, 3B
09/09/2006	Landsat 5	1 a 7	30 m	5R, 4G, 3B
13/08/2008	Landsat 5	1 a 7	30 m	5R, 4G, 3B
01/09/2009	Landsat 5	1 a 7	30 m	5R, 4G, 3B
15/05/2010	Landsat 5	1 a 7	30 m	5R, 4G, 3B
06/08/2011	Landsat 5	1 a 7	30 m	5R, 4G, 3B

Font. Elaboració pròpia.

Taula 2. Relació de les àrees obtingudes per cada any a través de la digitalització del camp de dunes.

Any	1988	1992	1999	2003	2006	2008	2009	2010	2011
Àrea (ha)	3486,81	3565,74	3629,8	3586,05	3514,61	3643,47	3707,16	3572,89	3582,37

Font. Elaboració pròpia.

Taula 3. Relació de velocitats calculades per diferents anys i per les dunes control i afectades.

	Velocitat (m/any)					
	Dunes control			Dunes afectades		
	Duna control1	Duna control2	Duna control3	Duna afectada1	Duna afectada2	Duna afectada3
2003	13,33	7,67	12,00	6,33	5,67	7,00
2004	13,33	7,67	12,00	6,33	5,67	7,00
2005	13,33	7,67	12,00	6,33	5,67	7,00
2006	7,00	4,00	5,25	3,75	5,50	2,25
2007	7,00	4,00	5,25	3,75	5,50	2,25
2008	7,00	4,00	5,25	3,75	5,50	2,25
2009	7,00	4,00	5,25	3,75	5,50	2,25
2010	6,00	3,33	3,00	9,33	15,67	4,33
2011	6,00	3,33	3,00	9,33	15,67	4,33
2012	6,00	3,33	3,00	9,33	15,67	4,33

Font. Elaboració pròpia.

Taula 4. Resultats obtinguts del creixement vertical de les dunes fixades.

	Base C2 (m)	Hipotenussa H (m)	Alçada C1 (m)	Creixement (m/any)
Duna fixada 1	11,8	16	10,81	3,60
Duna fixada 2	13,55	15,3	7,11	2,37
Duna fixada 3	16,25	16,5	2,86	0,95

Font. Elaboració pròpia.

FIGURES

Figura1. Evolució de la dinàmica dunar des de l'any 1988 al 2011.**Font.** Elaboració pròpia.

Figura2. Evolució de l'àrea del sistema dunar des de l'any 1988 al 2011 de la unitat ENACEL del Parc Eòlic Aracati. **Font.** Elaboració pròpia.

Figura3. Evolució de la velocitat d'avançament de les dunes control de l'any 2003 al 2012. **Font.** Elaboració pròpia.

Figura4. Evolució de la velocitat d'avançament de les dunes afectades de l'any 2003 al 2012. **Font.** Elaboració pròpia.