

## 4. ALTERNATIVAS LOCACIONAIS E TECNOLÓGICAS

### 4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para atender as diretrizes do Estudo de Impacto Ambiental, conforme o item I do artigo 5º da Resolução CONAMA Nº. 001/86, serão contempladas as alternativas locacionais e tecnológicas do projeto, confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto.

### 4.2. ALTERNATIVAS LOCACIONAIS

O potencial eólico do Estado do Ceará é um dos maiores do Brasil em virtude das boas condições de vento e relevo, destacando-se a faixa litorânea livre de barreiras eólicas.

No Estado do Ceará, os ventos alísios são provenientes de uma extensa área oceânica, livre de obstáculos, o que lhe confere notável intensidade, constância e baixa turbulência. Adicionalmente, os gradientes térmicos terra-oceano induzem brisas marinhas que contribuem para aumentar a sua intensidade.

A faixa litorânea do Estado do Ceará é contemplada com planícies de deflação e campos dunares que se posicionam defronte para o mar, encontrando-se áreas de dunas sem nenhum obstáculo natural ou artificial que se interponha às correntes eólicas. Na sua retaguarda, geralmente visualiza-se o predomínio dos tabuleiros pré-litorâneos, onde os terrenos são ocupados com atividades agrícolas e pecuárias ou turísticas cujas ocupações são horizontalizadas e pouco adensadas não se constituindo em barreiras eólicas ou como elementos que gerem maiores rugosidades. Estas áreas se expõem diretamente aos ventos alísios que chegam ao continente livres de obstáculos, proporcionando significativa intensidade, constância e baixa turbulência.

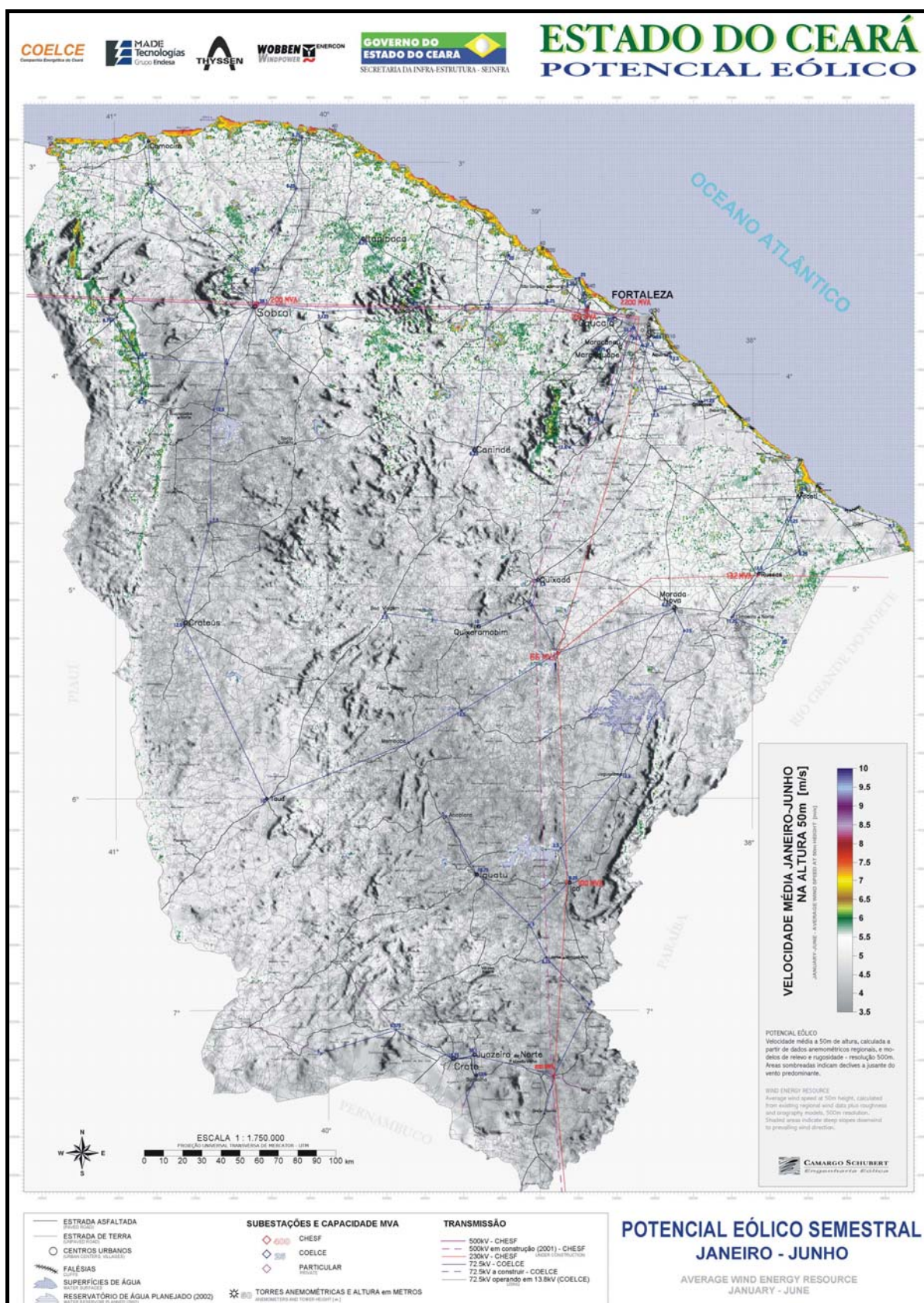
Os estudos específicos realizados pelo governo do estado do Ceará, cujos resultados foram apresentados no Atlas do Potencial Eólico, mostram que as melhores áreas para exploração

do vento pelos aerogeradores consistem da faixa da planície costeira, compreendida entre a zona de praia e o limite das dunas móveis, principalmente devido a ocorrência de maiores velocidades dos ventos e ao mesmo tempo, as menores rugosidades destas unidades, apresentando também a região dos tabuleiros pré-litorâneos, condições adequadas a instalação de parque eólicos.

Este estudo mostra também que a disponibilidade de energia eólica não é constante ao longo do ano. Verifica-se que o recurso eólico apresenta variações temporais em várias ordens de grandeza: variações anuais (em função de alterações climáticas), variações sazonais (em função das diferentes estações do ano), variações diárias (causadas pelo microclima local), variações horárias (brisa terrestre e marítima, por exemplo) e variações de curta duração (rajadas). A variação espacial da energia eólica também é muito grande, sendo maior no litoral e diminuindo drasticamente à medida que se penetra no interior. Considerando os dois tipos de variação (temporal e espacial), observa-se que somente na faixa litorânea as velocidades alcançam valores suficientes para gerar energia eólica, e no caso de implantação na zona interior os aerogeradores passariam seis meses (janeiro a junho) sem função (Figura 4.1).

Um aspecto em relação à localização do Complexo Eólico ser na região dos tabuleiros pré-litorâneos e não no campo de dunas, é a existência de áreas menos oneradas pelo processo de especulação imobiliária e pela implantação de complexos turísticos, além da minimização dos impactos visuais, mantendo-se o valor cênico das dunas móveis inalterado. Em relação aos impactos sobre a fauna e flora, porém, há uma tendência destes serem maiores sobre a superfície dos tabuleiros, por eles comportarem uma cobertura vegetal mais densa e diversa. No entanto, a baixa taxa de ocupação das Centrais Geradoras Eólicas faz com que a supressão vegetal para implantação de cada CGE seja bastante reduzida.

**Figura 4.1 – Velocidade Média dos Ventos no Estado do Ceará nos Meses de Janeiro-Junho**  
COMPLEXO EÓLICO PARAIPABA – PARAIPABA / CE



Fonte: Atlas do Potencial Eólico do Estado do Ceará, CEARÁ (2001).

Diante de uma seleção entre outras áreas disponíveis na região litorânea oeste do Ceará, a principal dificuldade refere-se a disponibilidade de terrenos em situação legal e ambiental favorável. Há décadas o litoral cearense vem tendo a sua ocupação direcionada para a implantação de equipamentos turísticos diversos, ocupando grandes áreas. Afora estas, muitas propriedades apresentam poligonais que não se adequam ao empreendimento proposto considerando que apresentam grandes profundidades e larguras estreitas. Um dos preceitos recomendados para as centrais eólicas é que deve ser considerado um limite mínimo de 120,0<sup>1</sup> m de distanciamento da locação dos aerogeradores com relação aos terrenos circunvizinhos, no intuito de preservar o direito dos proprietários das áreas de entorno em ocupar ou não, seus terrenos com outros tipos de empreendimentos, sem que a Central Eólica configure algum tipo de restrição a esse direito; além de assegurar uma distância recomendável para segurança tendo em vista a possibilidade de acidente e tombamento de alguma das torres.

Os estudos relativos à oferta de fonte de energia e a existência de ambientes ideais para exploração do potencial eólico desenvolvidos pela COELCE apontam, através de medições em anemômetros e também a partir de ensaios de computadores, a velocidade média e a direção predominante dos ventos em vários pontos do litoral cearense. Tais estudos destacam os locais com potencialidade à exploração da energia eólica, de forma que a seleção de área foi feita sob embasamento técnico e científico, conjugando, locais com potencialidade eólica constante, facilidades de infraestrutura e disposição de terrenos, dentre outros.

Os fatores que resultaram na eleição da área do projeto entre as diversas áreas potenciais selecionadas no litoral cearense são os seguintes:

- situação geográfica ideal, em ambiente litorâneo favorecido pelas correntes eólicas e livre de barreiras;
- terreno compatível com o porte do empreendimento, e a documentação regularizada e sem impedimentos

ambientais (no caso, o empreendedor já dispõe de toda documentação necessária);

- existência de levantamentos e estudos técnico-científicos quanto ao potencial eólico, a exemplo das faixas litorâneas do Estado do Ceará; e,
- existência de infraestrutura básica na região de entorno para dar suporte a implantação e operação do empreendimento;
- distanciamento considerável em relação a núcleos urbanos.

A existência de uma infraestrutura adequada dentro e nas imediações do parque eólico é pré-requisito que dá segurança ao empreendimento, tanto nos aspectos técnicos quanto econômicos. Acessos: os veículos e guindastes, somados com o peso dos equipamentos, em alguns casos podem chegar a 100 toneladas. Em termos de extensão, o caminhão que transporta as pás atinge quase 50,0 metros de comprimento. Por isso, a logística de transporte de equipamentos exige estradas e obras de boa qualidade e em bom estado de conservação, sem curvas de pequeno raio.

A área do complexo eólico é vizinha a CE-162, rodovia estadual asfaltada e em bom estado de conservação. Através da CE-162 chega-se a BR-222, que dá acesso ao Porto de Pecém, opção para o transporte dos equipamentos dos geradores.

Diante de uma seleção entre outras áreas disponíveis na região litorânea oeste do Ceará, a área do empreendimento atende satisfatoriamente todos os requisitos do processo seletivo, destacando-se que neste processo foi decisiva a disponibilidade de imóvel com boas condições eólicas e em situação legal e ambiental favorável ao desenvolvimento do empreendimento.

As alternativas locais do estudo de *micrositing* levaram também em consideração, além da disponibilidade de terrenos e do potencial eólico, as condições geotécnicas locais e ambientais, sendo também importante na seleção de áreas os potenciais efeitos de impactos de vizinhança. Sendo assim, foi considerado um limite mínimo de distanciamento entre a poligonal do terreno e a locação dos aerogeradores, evitando

<sup>1</sup> Para as usinas que utilizem torres de 80,0 m e pás de 40,0 m.

conflitos de uso, especialmente com relação a moradias, quer permanentes ou temporárias.

O arranjo espacial das turbinas no terreno foi feito em função da direção predominante dos ventos no local, do tamanho e morfologia da área, bem como do afastamento entre as turbinas como requisito técnico para atenuar os efeitos de turbulência.

A disposição dos aerogeradores e das vias de acesso no terreno procurou prioritariamente evitar intervenções nas Áreas de Preservação Permanentes - APP's dos cursos de águas e das lagoas, tendo estas sido consideradas nos estudos de alternativas do *micrositing*. No entanto, nos estudos preliminares de lay out o afastamento mínimo previsto entre as torres a fim de diminuir os efeitos de turbulência considerou a necessidade de se intervir em algumas APP's quer seja pela localização do aerogerador, quer seja pelas vias de acesso.

A Figura 4.2 mostra o primeiro arranjo proposto para as CGE's, cujo sistema viário interceptava cursos de água existente na área de implantação da **CGE IPANEMA**. Contudo, de maneira geral, o arranjo geral do complexo eólico, pouco interceptava fisicamente APPs (foram feitos vários contornos de APPs), ao passo que os principais impactos se dariam sobre a flora local, por meio da supressão da vegetação.

Sendo assim, já na segunda alternativa de arranjo, mostrada na Figura 4.3, vê-se que foram feitas adequações no arranjo geral do empreendimento, com a diminuição do número de aerogeradores e, por conseguinte, menor área de supressão vegetal. **CGE ALCÂNTARA**: diminuiu dois aerogeradores; **CGE IPANEMA**: diminuiu um aerogerador e **CGE POTENGI**, diminuiu quatro aerogeradores.

Por outro lado, ainda segundo essa segunda versão do arranjo geral, o acesso externo dar-se-ia através da CE-162, após passar pela sede do município de Paraipaba, o que ocasionaria diversos impactos sobre este importante núcleo urbano da região.

Na terceira alternativa concebida para o projeto (Figura 4.4), reduziu-se ainda mais o número de intervenções em APP, com a adoção do acesso

externo apenas pela **CGE CALUMBI** e, assim, evitando passar pela sede de Paraipaba. Outro fator positivo foi a adoção de apenas um canteiro de obras, ao invés dos 04 iniciais, reduzindo mais uma vez a área de supressão vegetal. Por conta disso, a intervenção prevista em uma lagoa na área da **CGE IPANEMA** foi retirada do projeto do complexo eólico, configurando-se, em suma, na melhor alternativa locacional dentro das propriedades arrendadas.

### 4.3. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

As fontes de energia não renováveis como petróleo, carvão mineral e gás natural, além de serem poluidoras possuem reservas limitadas.

Desta forma, a humanidade tem procurado desenvolver novas tecnologias para aproveitar os recursos renováveis, abundantes e não poluentes como fontes alternativas de energia.

As principais fontes de energia renováveis são:

- Energia solar (térmica e fotovoltaica).

Biomassa (álcool, lenha, carvão vegetal, óleos vegetais e biogás).

- Hidroeletricidade.
- Energia eólica.
- Energia das marés.
- Energia geotérmica.
- Energia das ondas.

Com uma vegetação raquítica, sem rios perenes, ausência de gradientes térmicos ou geotérmicos, restou ao Estado do Ceará duas opções em matéria de energia renovável: Energia Solar e Eólica.

O Quadro 4.1 apresenta dados comparativos das energias alternativas que, não deixa dúvidas sobre a vantagem econômica da energia eólica em relação a solar, seja do tipo térmica ou fotovoltaica.

A matriz energética do Estado do Ceará é baseada predominantemente na energia hidroelétrica, de forma que num período de crise energética, o sistema de distribuição de energia local fica comprometido em qualidade e quantidade, o que pode gerar desestabilização dos setores produtivos e perda de qualidade de vida para a população.



Figura 4.2 – Primeira Alternativa Locacional Estudada para as Torres e Vias de Acesso  
COMPLEXO EÓLICO PARAIPABA – PARAIPABA / CE

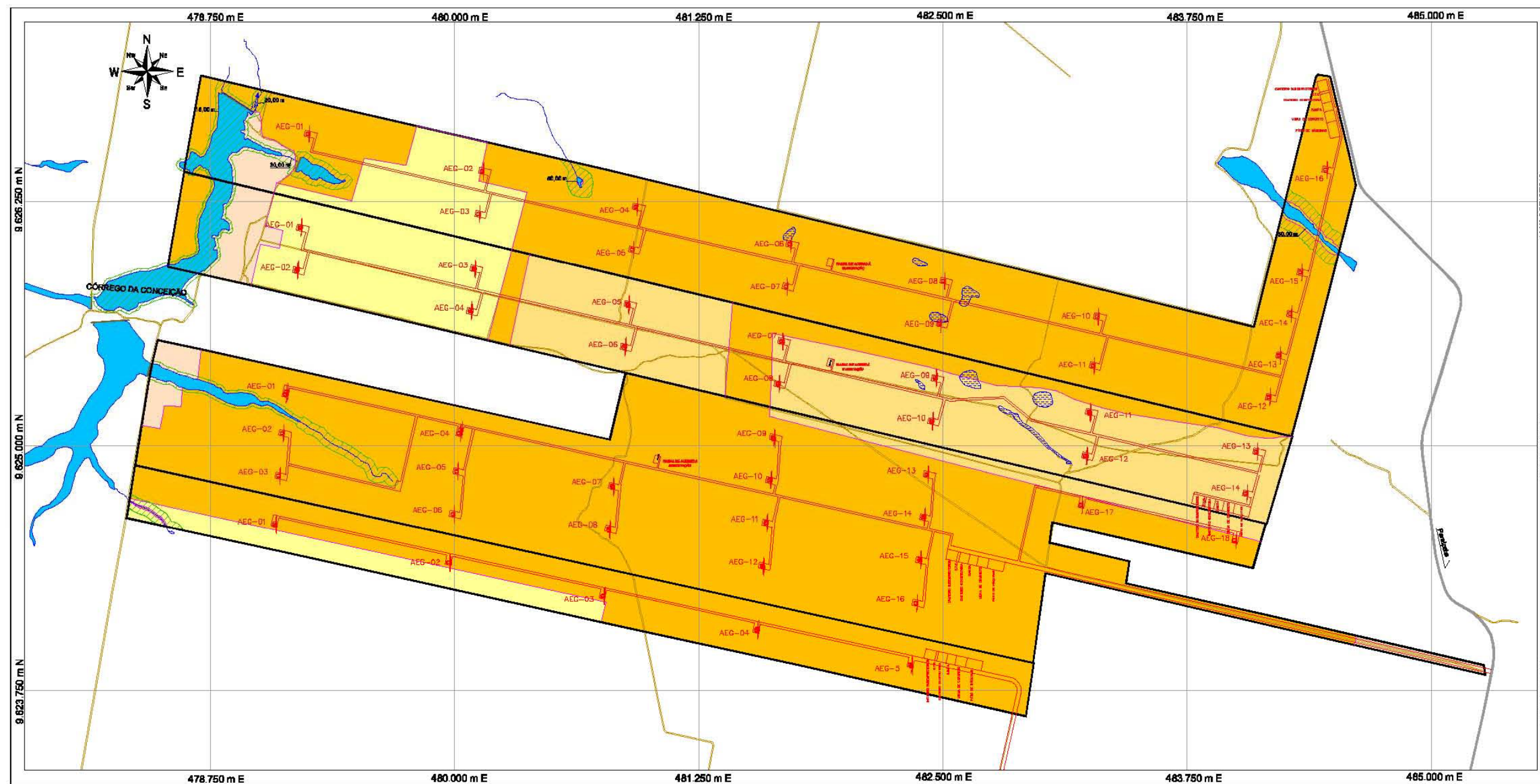


Figura 4.3 – Segunda Alternativa Locacional Estudada para as Torres e Vias de Acesso  
COMPLEXO EÓLICO PARAIPABA – PARAIPABA / CE

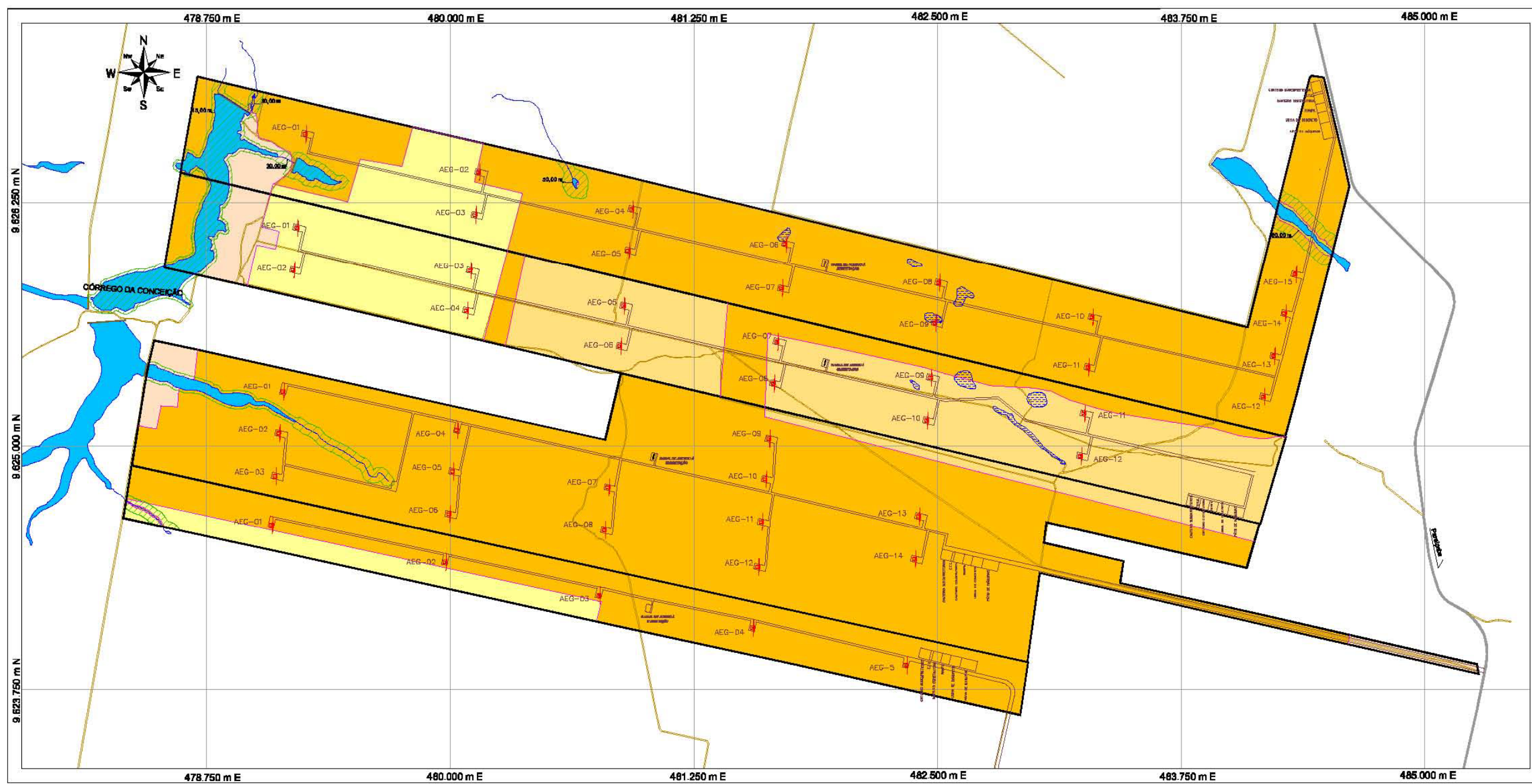
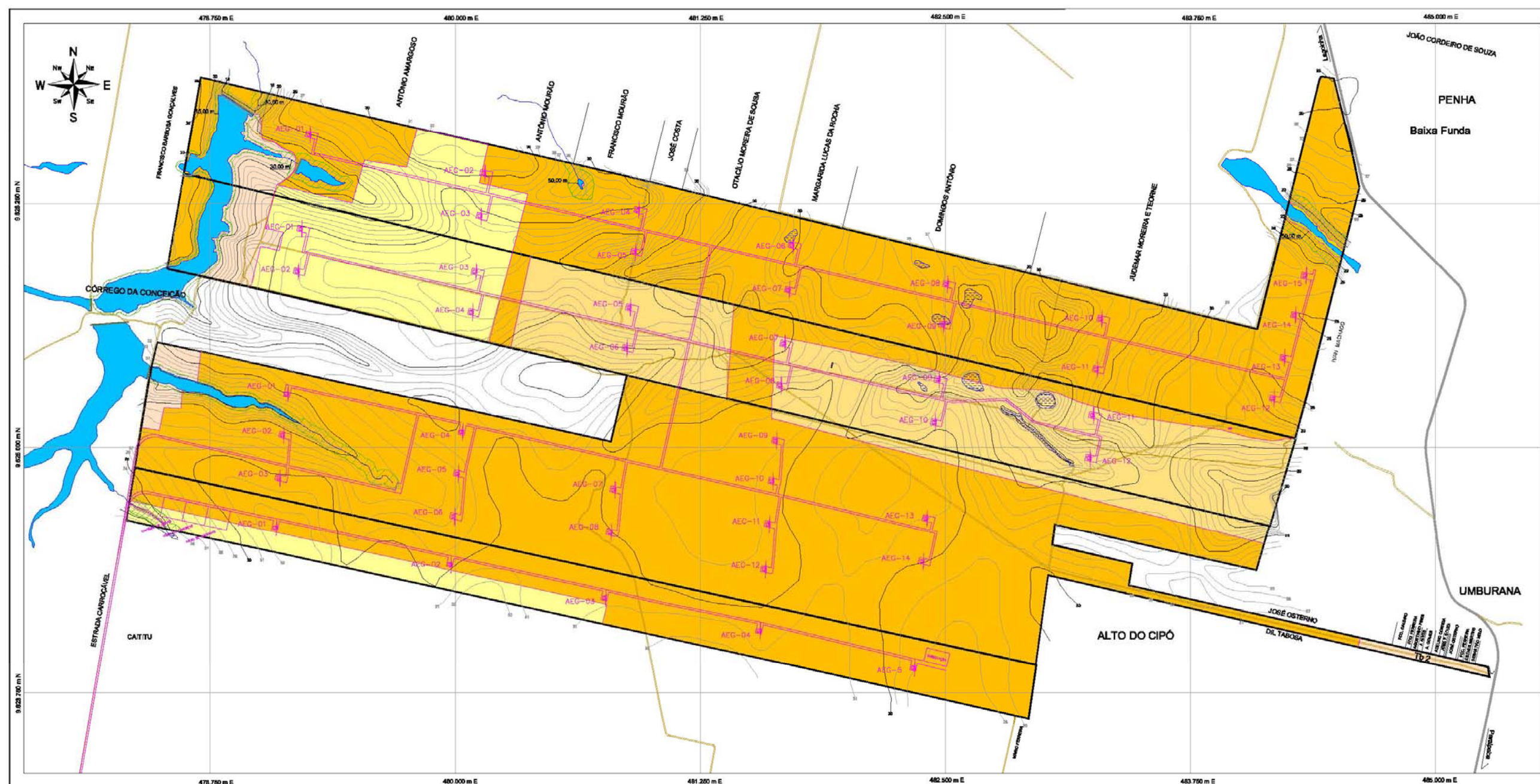




Figura 4.4 – Terceira Alternativa Locacional Estudada para as Torres e Vias de Acesso  
COMPLEXO EÓLICO PARAIPABA – PARAIPABA / CE





**Quadro 4.1 – Comparação das Energias Alternativas**  
COMPLEXO EÓLICO PARAIPABA – PARAIPABA / CE

	Solar Térmica	Fotovoltaica	Eólica	Biomassa
Estado da Tecnologia	Muito poucas comerciais e em desenvolvimento	Poucas comerciais e em desenvolvimento	Muitas comerciais e algumas em desenvolvimento	Muitas comerciais e em desenvolvimento
Potência (MW)	30 – 100 (calhas) 10 – 200 (torre) 1 – 10 (disco)	0,001 – 0,05 (resid.) 0,1 – 1 (plantas)	800 – 3000 kW	Até 100
Eficiência (%)	15 – 17	9 – 12	30 – 45	15 – 30 / 35 – 50
Investimento inicial	Alto	Muito alto	Médio	Médio baixo
Gasto de energia na construção	Médio	Alto	Médio baixo	Baixo
Gasto de energia na operação	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Médio
Horas de operação a plena carga por ano (h)	1500 – 2000 (calha) 2300 – 2800 (torre) 1300 – 1600 (disco)	800 – 1900	2600 – 4000	4000 – 7000

Considerando-se a constante instabilidade da energia hidroelétrica, e tendo-se em vista que o Estado do Ceará não possui potencialidade hídrica para instalação de usinas hidrelétricas, torna-se indispensável o investimento em fontes alternativas de energia, através da exploração das potencialidades naturais da região, destacando-se as fontes eólica e solar.

A energia eólica tecnicamente pode ser instalada em qualquer região onde existam ventos abundantes, podendo economizar a construção de linhas de transmissão de energia elétrica para eletrificar regiões de difícil acesso.

Durante as últimas décadas a exploração eólica para produção de eletricidade vem sendo usada em vários países, merecendo relevância os Estados Unidos, Alemanha, Dinamarca, Holanda, Itália, Portugal, entre outros, sendo a Alemanha a maior exportadora de tecnologia de energia eólica do mundo.

Em escala mundial o aproveitamento eólico-elétrico tem se expandido a taxas crescentes ao longo da última década, consolidando a aptidão desta tecnologia à escala de Gigawatts. É inegável o seu futuro: custos decrescentes para patamares competitivos com outras fontes, simplicidade e rapidez na instalação, modularidade que permite o acesso de um novo e amplo leque de investidores

produtivos ao setor energético, e principalmente sua limpeza ambiental, sem riscos econômicos para o futuro, e ao mesmo tempo capazes de carrear benefícios que poderão se estruturar no esforço mundial para a contenção do aquecimento global da atmosfera.

O acelerado crescimento do uso de energia eólica para a geração de eletricidade está firmemente fundamentado na sua aceitação pela sociedade como fonte ecologicamente favorável e nos altos níveis de confiabilidade e eficiência operacionais atingido pelos aerogeradores atuais, como também na redução do preço por kW dessas turbinas eólicas.

O Brasil encontra-se dentre os países de grande potencial eólico, destacando-se o Estado do Ceará com um dos pioneiros na geração de energia eólica em escala comercial. A Usina Eólio-Elétrica da Prainha foi uma das primeiras a serem instaladas na América do Sul, encontrando-se em funcionamento na Prainha, município de Aquiraz, com 20 (vinte) aerogeradores de 0,5 MW totalizando 10 MW de capacidade instalada, e, na praia da Taíba, município de São Gonçalo do Amarante, onde se implantou a primeira usina eólica do mundo sobre dunas, com 10 (dez) aerogeradores, totalizando 5 MW de capacidade instalada. Destaca-se ainda a Central Geradora





Eólica do Mucuripe, a primeira a ser instalada no Estado, com capacidade atual de 2,4 MW.

De acordo com os levantamentos de potencial eólico realizados nos últimos anos, o Ceará só vem a confirmar sua elevada capacidade de produção eólica. Todavia, a exploração desta capacidade, visando a transformação da energia do vento em eletricidade, só foi possível através da importação de tecnologia, mais especificamente da Alemanha, utilizada para instalação das Usinas Eólicas de Taíba e da Prainha através da WOB BEN WINDPOWER, associada da companhia alemã ENERCON, terceira no *ranking* internacional dos fabricantes de aerogeradores. Destacam-se ainda em termos de tecnologia de última geração, a CONERGY, empresa alemã que desenvolve tecnologia própria para a geração de eletricidades utilizando fontes alternativas, presente em 22 países inclusive no Brasil e a VENSYS, empresa também alemã que possui mais de 20 anos de experiência e têm equipamentos instalados em países como China, Alemanha e Canadá.

A seleção da turbina eólica para o projeto considera alguns fatores determinantes, tais como:

- disponibilidade de turbinas na época da construção do Projeto Eólico;
- atendimento ao índice de nacionalização definido pelo Governo Federal;
- relação da energia gerada calculada (GWh/ano) / valor das turbinas (R\$/MW);
- garantia das turbinas eólicas pelo fabricante; e,
- custos de operação e manutenção.

Uma vez atendidos os itens de disponibilidade e índice de nacionalização, a energia calculada (tipo de tecnologia-fabricante, a potência da turbina e o vento são as principais variáveis para o cálculo da geração de energia em GWh/ano) por softwares específicos, condições de garantia e custos de operação e manutenção são inseridos em planilhas com modelos financeiros.

O modelo de aerogerador a ser utilizado nas UEEs, é baseado numa máquina com rotor de três pás do tipo standard, eixo horizontal de concepção *upwind*, ou seja, o rotor opera na frente da torre.

O rotor multipás atualmente representa a maioria das instalações eólicas, tendo sua maior aplicação no bombeamento d'água. Suas características tornam seu uso mais próprio para aeromotores, pois dispõe de uma boa relação torque de partida / área de varredura do rotor, mesmo para ventos fracos; em contrapartida seu melhor rendimento encontra-se nas baixas velocidades, limitando a potência máxima extraída por área do rotor, que não é das melhores, tornando este tipo pouco indicado para geração de energia elétrica.

O rotor de três pás é praticamente o padrão de rotores utilizados nos aerogeradores modernos; isto se deve ao fato da grande relação de potência extraída por área de varredura do rotor, muito superior ao rotor multipás (embora isto só ocorra em velocidades de vento superiores), pois além do seu rendimento máximo ser o melhor entre todos os tipos, situa-se em velocidades mais altas. Entretanto, apresenta baixos valores de torque de partida, e de rendimento para velocidades baixas, características que apesar de aceitáveis em sistemas de geração de eletricidade, incompatibilizam seu uso em sistemas que requeiram altos momentos de força e ou carga variável.

O uso de eixo horizontal é importante mecanismo que permite o posicionamento do eixo do rotor em relação à direção do vento, para um melhor aproveitamento global, principalmente onde se tenha muita mudança na direção dos ventos.

A máquina é projetada para emitir baixos índices de ruído e é capaz de produzir eletricidade com velocidades de vento a partir de 4 m/s (*cut-in*), atingindo sua capacidade nominal em velocidades próximas a 14 m/s e interrompendo a sua geração em velocidades de vento superiores a 25 m/s (*cut-out*), ou seja, apresenta características muito próximas aos modelos já instalados nas novas usinas de geração eólio-elétricas em operação no estado do Ceará.

O modelo de aerogerador a ser empregado no **COMPLEXO EÓLICO PARAIPABA** apresenta comprovada eficiência para as condições ambientais da área contemplada com o projeto.

Os sistemas eólicos interligados ao sistema de distribuição, por dispensarem sistemas de armazenamento são bastante viáveis



representando atualmente a maior evolução em sistemas eólicos, e já apresentam custos paritários ao das hidrelétricas. Nesta configuração os sistemas eólicos podem ter uma participação na ordem de 15% do fornecimento total de energia, envolvendo na definição deste percentual, estudos específicos de vários fatores que garantam fornecimento regular e a qualidade de energia do sistema interligado como um todo.

#### **4.4. HIPÓTESE DE NÃO IMPLANTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO**

Sem a implantação do **COMPLEXO EÓLICO PARAIPABA**, o prognóstico para a área de influência direta do projeto pode ser assim considerado:

em se tratando de propriedades pouco produtivas, o proprietário do terreno deixará de agregar valor a sua propriedade;

- poderá ocorrer a continuidade dos processos de regeneração da cobertura vegetal;
- não serão honrados os compromissos contratuais firmados entre as empresas empreendedoras e o Governo Federal para geração de energia;
- o Estado do Ceará perderá oportunidade de alcançar sua autosustentabilidade energética; e,
- sem o empreendimento a população da região perderá oportunidades de empregos, tanto diretos quanto indiretos e os municípios envolvidos deixarão de contar com uma nova fonte de arrecadação de impostos e tributos, além de uma importante oportunidade para o crescimento econômico.