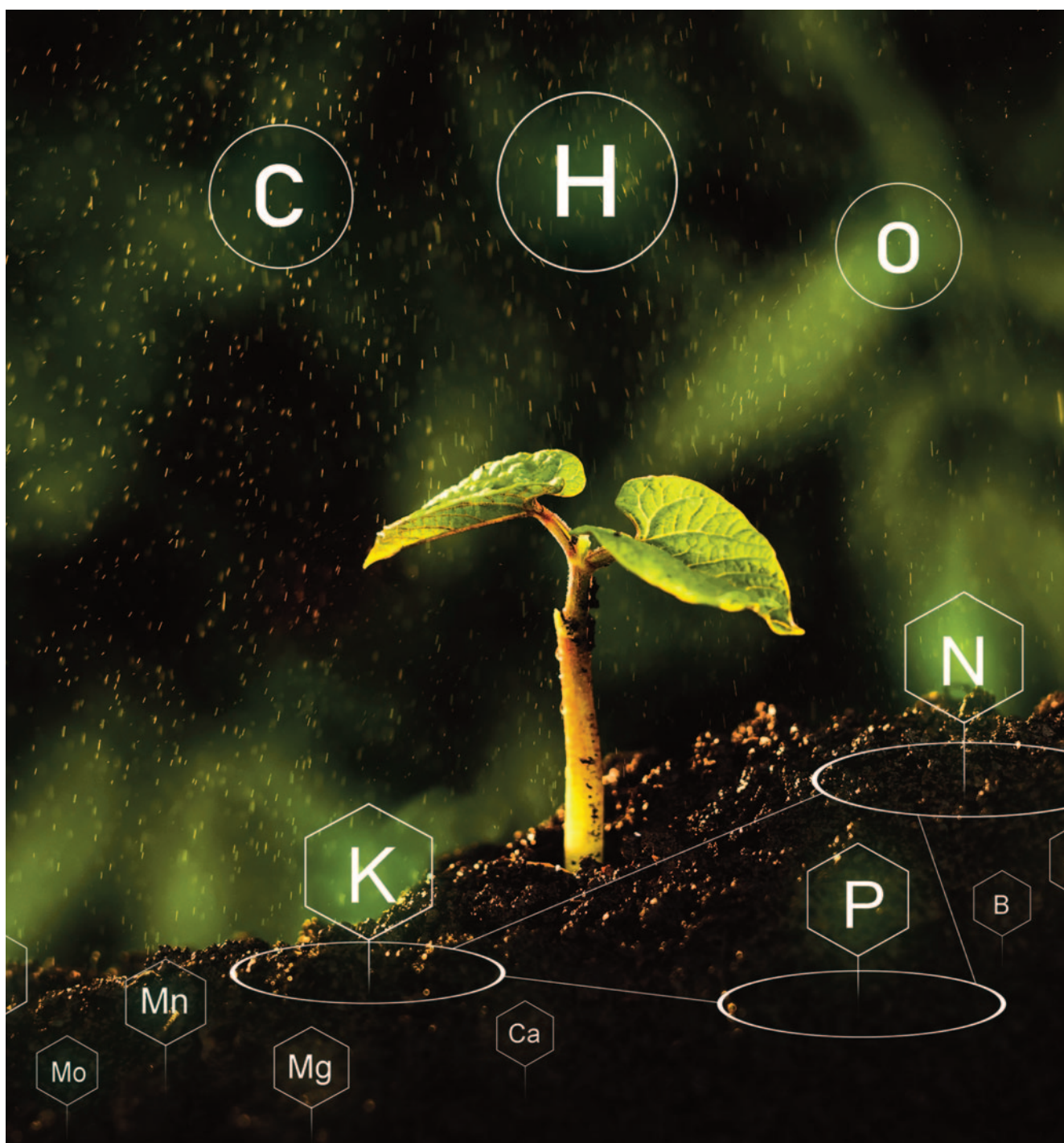


Análise aplicada à viabilidade do hidrogênio: estudo de caso

“O que pode ser medido, pode ser gerenciado”
Peter Drucker⁶⁵



Estudo de caso: selecionando o local ideal para projetos de hidrogênio

Esta seção apresenta um estudo de caso com foco na identificação e seleção de locais ideais para projetos de hidrogênio. A implementação desse modelo oferece aos agentes do mercado de hidrogênio a capacidade de avaliar com precisão as vantagens e desvantagens de diferentes locais para a produção de hidrogênio renovável, facilitando a tomada de decisões mais informadas e sólidas.

Introdução do modelo

A Cátedra de Estudos de Hidrogênio da Universidade Pontifícia Comillas (ICAI-ICADE), da qual a Management Solutions é membro, desenvolveu um aplicativo baseado em ferramentas GIS (Geographic Information Systems) que permite analisar a localização ideal dos locais para a construção de projetos de hidrogênio renovável de acordo com diferentes critérios.

O aplicativo permite o cálculo de um índice de compatibilidade H₂ que pontua a adequação dos locais. O estudo de caso a seguir foi desenvolvido para a Espanha, mas essa tecnologia seria aplicável em qualquer região, logicamente sujeita à disponibilidade das informações necessárias ou com a adaptação necessária das variáveis a serem avaliadas na sua ausência.

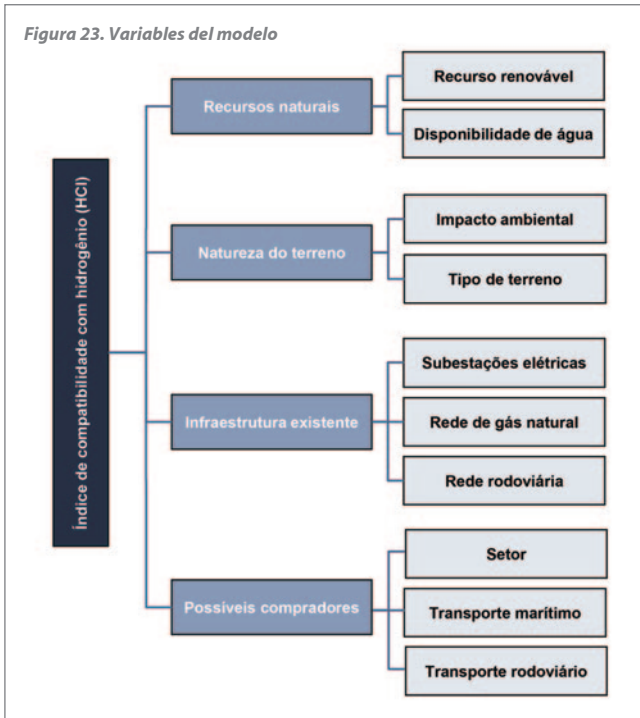
Primeiramente, o mapa da Espanha foi dividido em quadrados (por exemplo, 2x2 km², embora o tamanho possa ser ajustado dependendo da área de estudo) e o modelo gerado foi usado para avaliar a compatibilidade da produção de hidrogênio para cada um deles.

O modelo proposto permitiria que os participantes do mercado de hidrogênio identificassem os pontos fortes e fracos dos possíveis locais para a produção de hidrogênio renovável, o que resultaria em uma melhor tomada de decisão. Além disso, esse modelo poderia ajudar a responder a algumas perguntas, por exemplo:

- ▶ Como os diferentes locais se comparam em termos de adequação para a produção de hidrogênio renovável?
- ▶ Quais são os locais mais promissores para a produção de hidrogênio verde?
- ▶ Onde se espera que os futuros off-takers estejam localizados e qual é sua demanda potencial?
- ▶ Como escolher os melhores locais para evitar conflitos no uso da água, no uso da terra ou nos impactos ambientais?
- ▶ Onde pode ser construída uma usina de hidrogênio renovável para maximizar a eficiência e a lucratividade?
- ▶ Qual é o potencial de produção de hidrogênio renovável em diferentes áreas?
- ▶ Como minimizar os custos de transporte do hidrogênio verde da fábrica para os pontos de consumo?

⁶⁵Peter Drucker, conhecido como o pai da administração moderna e renomado por suas contribuições ao campo da administração de empresas.

⁶⁶Geographic Information Systems.



Explicação do modelo

O modelo desenvolvido baseia-se no estudo de diferentes variáveis para calcular o local ideal para a construção de um projeto de hidrogênio.

Em seguida, é analisado e desenvolvido como essas variáveis são aplicadas como entradas no modelo:

Recursos naturais

Disponibilidade de energia solar e eólica

O modelo avalia as alternativas de produção de H₂ fontes de energia solar ou eólica de acordo com o fator de capacidade⁶⁷ de cada fonte renovável. Dependendo da área geográfica, esse fator de capacidade varia. Um fator de capacidade mais alto implica

uma maior utilização potencial do eletrolisador e, portanto, uma maior capacidade de produção de hidrogênio por eletrólise.

Como às vezes é difícil comparar dois locais com base apenas nos fatores de capacidade, eles podem ser traduzidos em um custo nivelado de hidrogênio (LCOH). O LCOH indica o custo estimado por kg de hidrogênio, levando em conta os custos de investimento (CAPEX) e a produção de hidrogênio, relacionados às horas de operação e, portanto, ao fator de capacidade.

Quanto mais baixo for o LCOH, mais barato será produzir hidrogênio no local em estudo. Além disso, o LCOH permite uma comparação direta entre as energias eólica e solar para a produção de hidrogênio.

Disponibilidade de água

Da mesma forma, a disponibilidade de água é um insumo fundamental como matéria-prima para a produção de hidrogênio renovável. Nesse caso, as informações sobre a disponibilidade de água de superfície (figura 26, gráfico à esquerda) e as localizações das ETARs (estações de tratamento de águas residuais; figura 26, gráfico à direita) estão integradas, mas outras preferências do desenvolvedor, como a distância das fontes de água ou o tipo de água, podem ser incluídas.

Natureza do terreno:

Índice de Sensibilidade Ambiental (ESI). Esse índice mede o impacto ambiental da construção de uma usina de geração renovável em um determinado local com base em vários fatores que influenciam a vulnerabilidade ambiental, como a qualidade do solo ou a presença de áreas naturais protegidas, entre outros. O índice classifica o território em cinco categorias de sensibilidade ambiental (máxima, muito alta, alta, moderada e baixa), e os locais com sensibilidade máxima são excluídos do modelo.

⁶⁷Fator de capacidade: mede a frequência com que uma usina opera com potência máxima. Uma usina com um fator de capacidade de 100% produz energia o tempo todo.

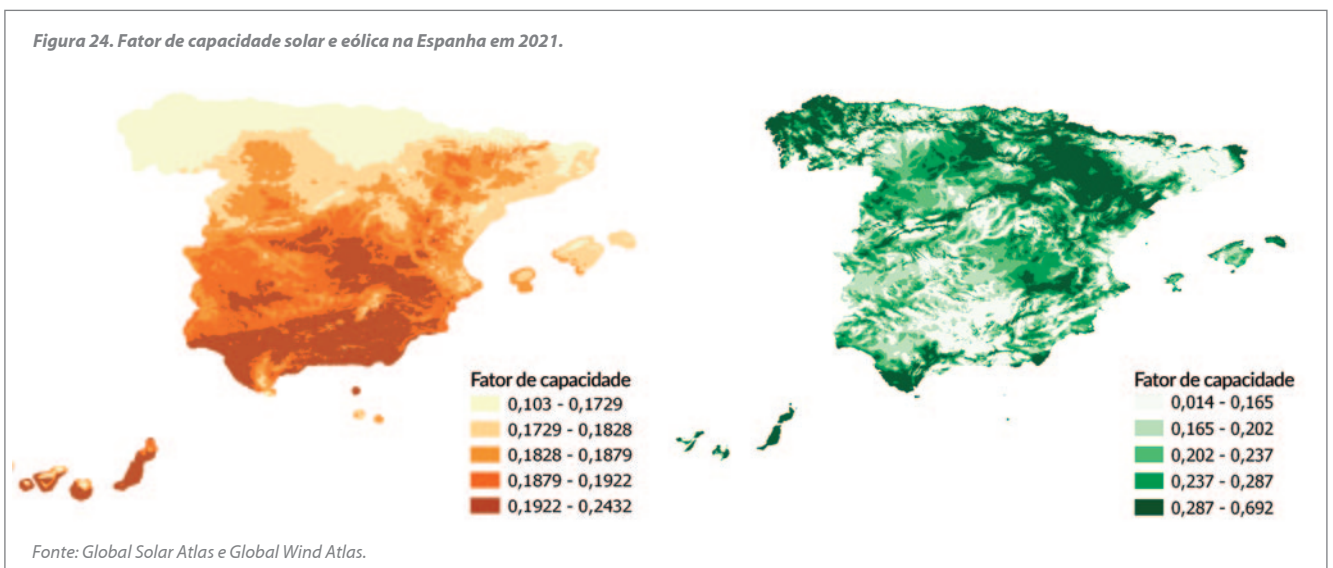


Figura 26. Distância para diferentes fontes de abastecimento de água na Espanha

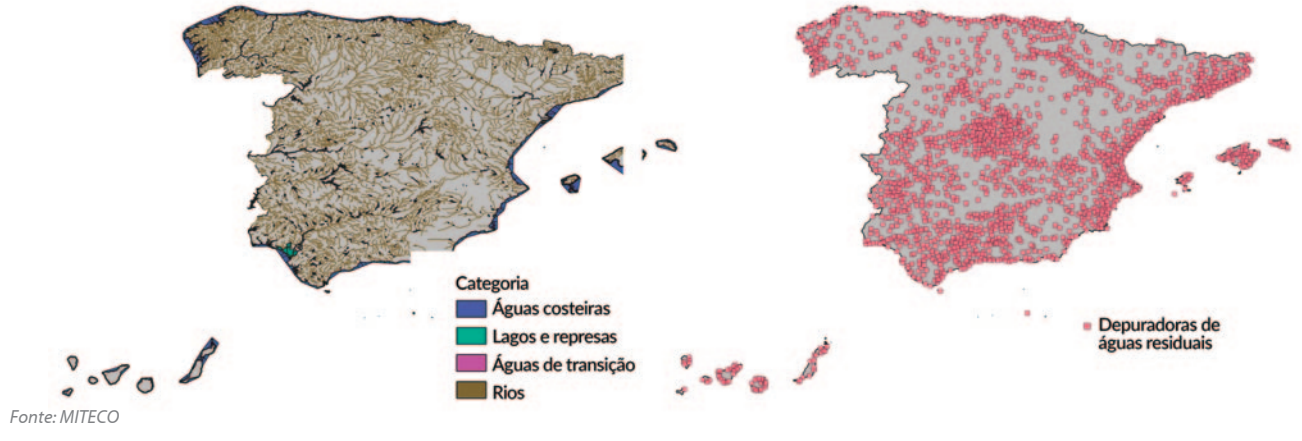


Figura 27. Índice de Sensibilidade Ambiental (ESI) na Espanha.

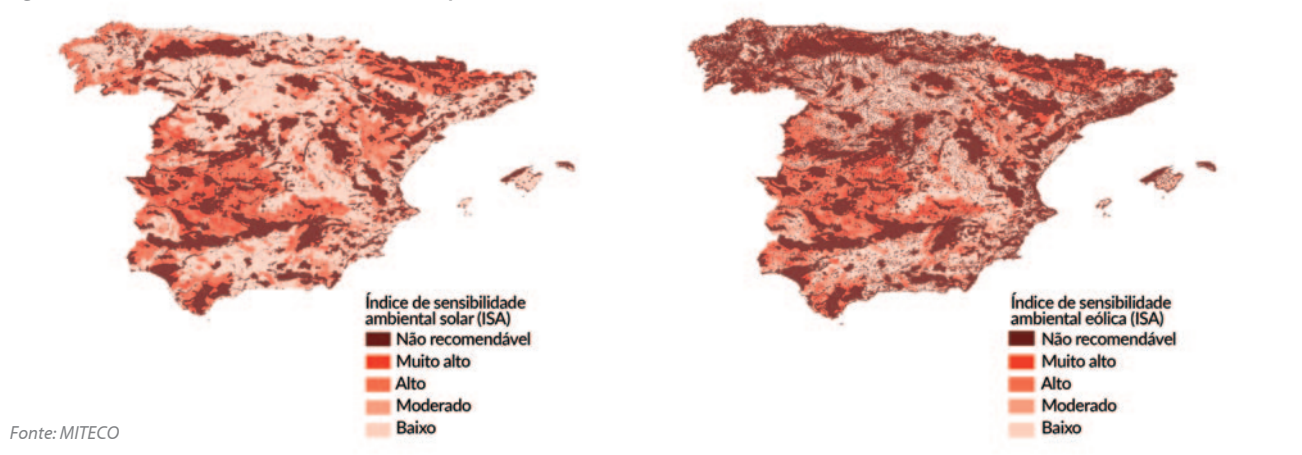


Figura 28. Inclinação do terreno envolvendo locais excluídos.

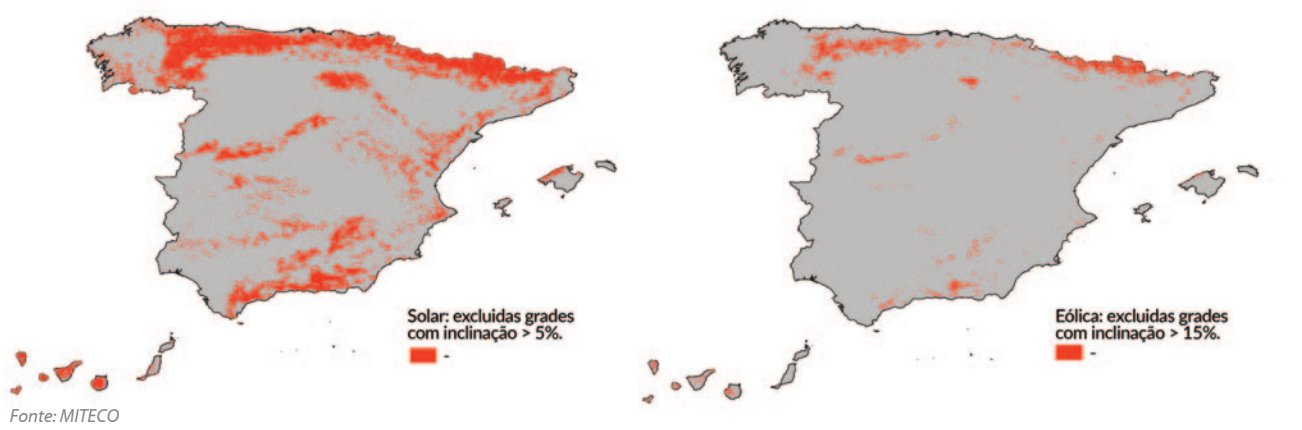


Figura 28. Disponibilidade de terrenos na Espanha.

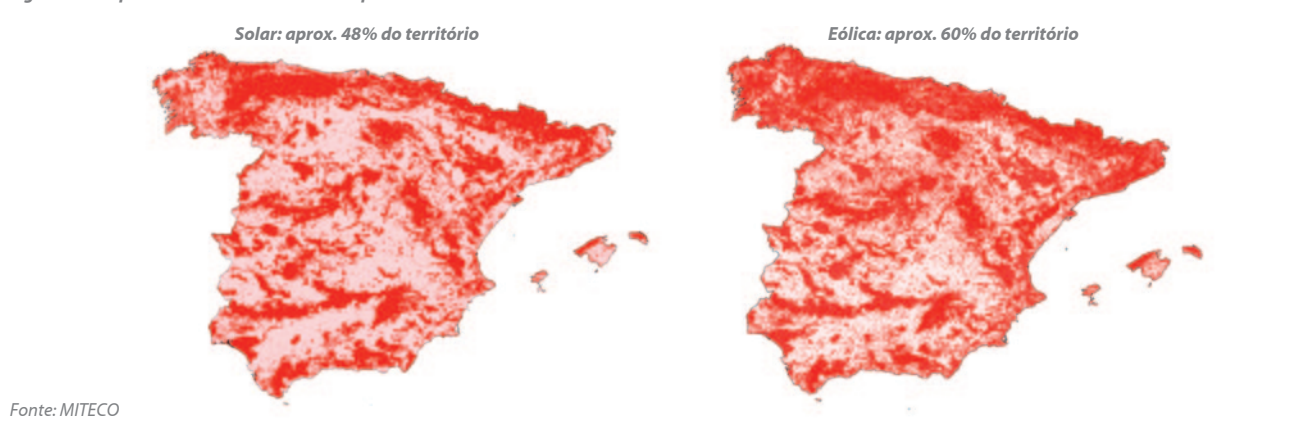


Figura 29. Tipos de solo na Espanha.



Fonte: programa Copernicus

Esse fator é relevante para as plantas de produção de hidrogênio com fontes renováveis dedicadas, uma vez que, nesse tipo de projeto, o estudo de impacto ambiental é um dos processos administrativos mais complexos. Embora o modelo não isente do procedimento de avaliação ambiental relevante, ele permite uma abordagem indicativa desde os estágios iniciais do projeto.

Inclinação do terreno. Com base na literatura científica existente, os locais são excluídos acima de uma determinada inclinação (maior que 5% para a construção de instalações solares e 15% para instalações de energia eólica).

Disponibilidade de terras. Somando os locais excluídos pela ISA com aqueles excluídos pela inclinação, observa-se que aproximadamente 48% dos quadrados da grade seriam excluídos para a produção de hidrogênio com energia renovável dedicada e cerca de 60% para a energia eólica. Esses números refletem áreas que não seriam viáveis para a instalação de plantas dedicadas de geração de hidrogênio renovável devido a restrições ambientais e topográficas.

Tipo de solo. Para cada uma das grades, o tipo de solo é caracterizado de acordo com seu uso (terra seca, terra irrigada, pastagem natural, prado, núcleos urbanos etc.).

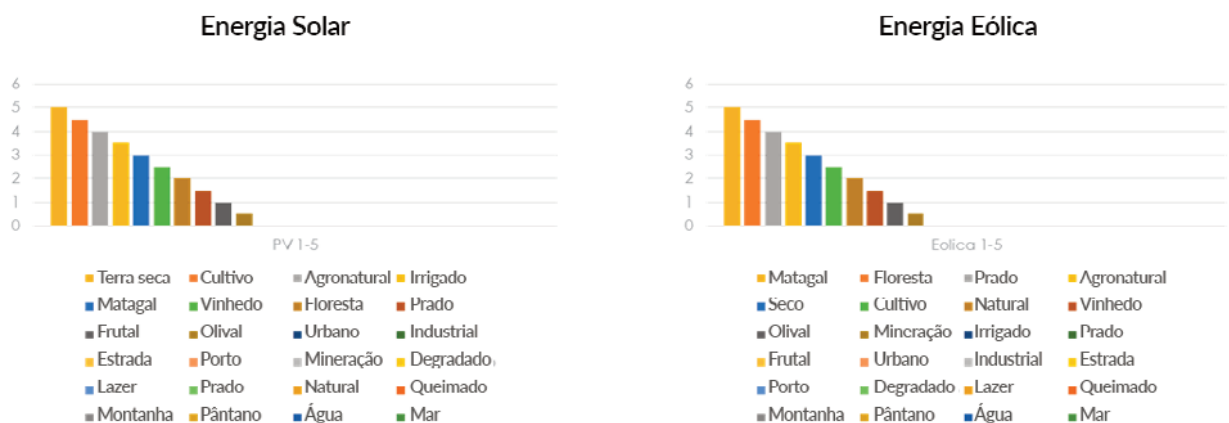
Além disso, os usos estão vinculados à adequação para a construção de parques solares e eólicos e uma pontuação é calculada de 0 a 5, sendo 0 um uso nunca utilizado para tais construções.

Infraestrutura existente

Rede elétrica: distância até as subestações

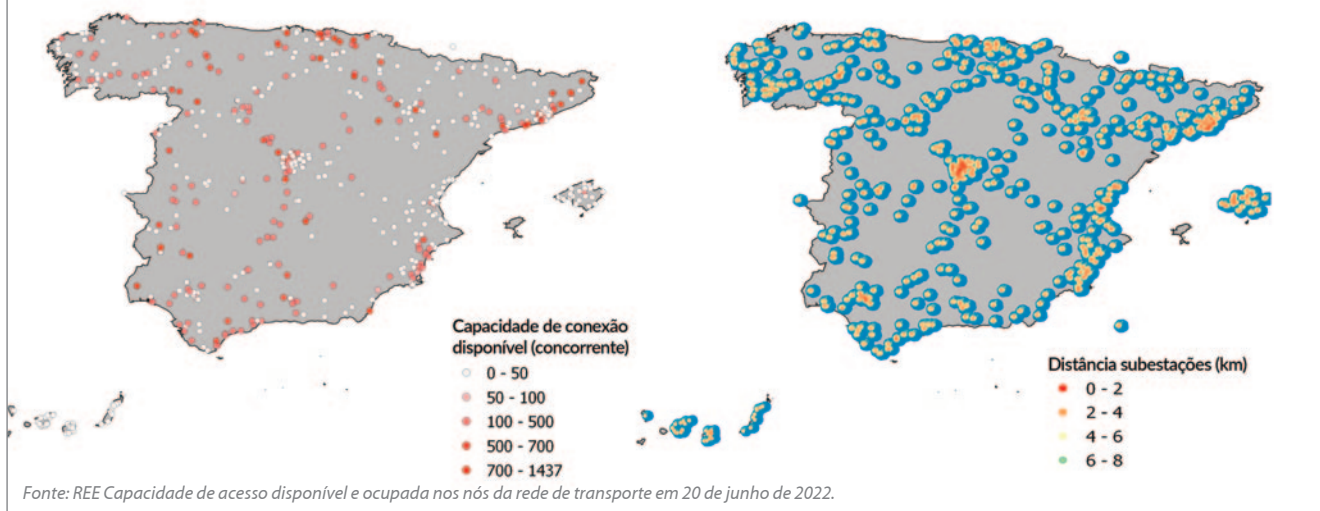
Uma abordagem muito comum em projetos de hidrogênio verde é superdimensionar a planta de produção renovável em relação ao eletrolisador. Por esse motivo, haverá momentos em que o eletrolisador não poderá consumir toda a energia gerada. Nesse caso, o excesso de produção de energia terá de ser alimentado na rede elétrica, sendo a distância até a subestação um critério importante, pois quanto maior a distância, maior o custo e maiores as perdas de eletricidade devido ao transporte.

Figura 30. Classificação do tipo de terreno, dependendo se é para uma instalação solar ou eólica. eólica.



Fonte: Avaliação do banco de dados de uso da terra para a localização e distribuição espacial de energia solar e eólica na Espanha (2018).

Figura 31. Distância até as subestações de eletricidade na Espanha.



Além da distância até uma subestação de eletricidade, a capacidade de conexão para geração disponível em cada nó também pode ser relevante. No exemplo, essas informações são extraídas das publicações mensais feitas pela operadora do sistema (Redeia).

Rede de gás natural: distância até a rede

A distância até a rede de transmissão de gás pode ser uma variável substituta por dois motivos. Em primeiro lugar, porque o blending pode ser um aspecto importante em muitos projetos (embora ainda haja grande incerteza sobre a viabilidade técnica e os limites aceitáveis) e, em segundo lugar, porque se espera que a futura infraestrutura de transporte de hidrogênio siga as mesmas rotas da rede de gás natural existente, sendo uma variável importante no caso de se considerar as possíveis opções de transporte de hidrogênio, como já está sendo visto com a rede de backbone que está sendo considerada.

Rede rodoviária

São incluídas informações sobre a rede rodoviária de acordo com o tipo de estrada (autoestrada, nacional, entre outras) e seu pertencimento à Rede Transeuropeia de Transportes (TEN-T). Tanto para a construção quanto para a operação das usinas, é importante ter uma rede rodoviária próxima. Isso facilitaria o transporte de hidrogênio em caminhões-tanque até os pontos de consumo final.

Potenciais off-takers

Indústria

O modelo considera a distância até os possíveis consumidores de hidrogênio industrial, analisando a existência de indústrias próximas aos locais. Além disso, é feita uma estimativa da demanda potencial de hidrogênio em alguns destas indústrias (refino, amônia, aço, produção de cerâmica, produção de vidro e cimento). Essa estimativa se baseia em informações públicas sobre capacidades de produção, fatores de emissão ou consumo de energia das diferentes instalações.

Transporte marítimo

O hidrogênio e seus derivados, como a amônia ou o metanol, desempenharão um papel fundamental na descarbonização do transporte marítimo. Por esse motivo, foram incluídas informações relevantes sobre os principais portos da Espanha, por exemplo:

- Há informações disponíveis sobre o tráfego e o tamanho dos navios que atracam em cada porto, bem como a demanda por combustível em cada porto.
- Há informações disponíveis sobre a disponibilidade de infraestrutura para exportação de amônia e metanol nos diferentes portos. Com adaptações mínimas, esses portos poderiam fornecer esses combustíveis aos navios

Figura 32. Distância até a rede de gás natural.



Transporte terrestre

É complexo estimar onde e qual será a demanda futura de hidrogênio para a mobilidade terrestre, embora pareça claro que o transporte pesado concentrará a maior demanda de hidrogênio nesse segmento. Por esse motivo, foram incluídas no modelo informações sobre a intensidade do tráfego de veículos pesados nas principais rodovias do país e nos nós de logística existentes ou planejados.

Aplicações do modelo

Esse modelo tem duas aplicações diretas possíveis:

Mapa de camadas/movimentos interativos

A visualização do valor dos diferentes critérios para cada nó ou grade facilita a identificação dos pontos fortes e fracos de diferentes locais. Isso pode facilitar a comparação entre vários locais potenciais previamente definidos ou até mesmo localizar alternativas próximas. Por exemplo, a figura 36 mostra locais adequados para energia eólica e solar, se os seguintes critérios forem selecionados:

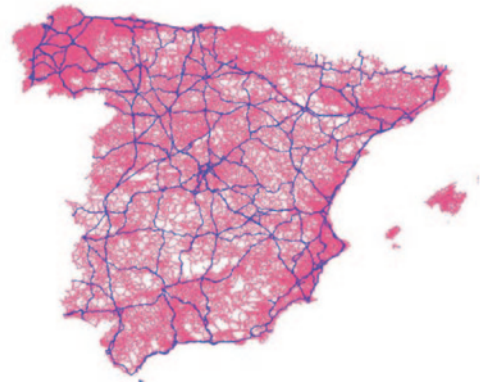
Cálculo do índice de compatibilidade com hidrogênio (HCI)

Usando as variáveis definidas acima, o Índice de Compatibilidade H₂ (HCI) pode ser calculado multiplicando-se o valor de cada critério (previamente normalizado) pelo seu peso específico:

$$ICH2 = \sum \text{Critério}_i * \text{Peso_critério}_i$$

Esses pesos podem ser atribuídos por métodos de decisão multicritério, em que especialistas são pesquisados e os pesos são atribuídos usando um método comparativo (por exemplo, processo analítico hierárquico), ou por alocação baseada em

Figura 33. Rede de estradas



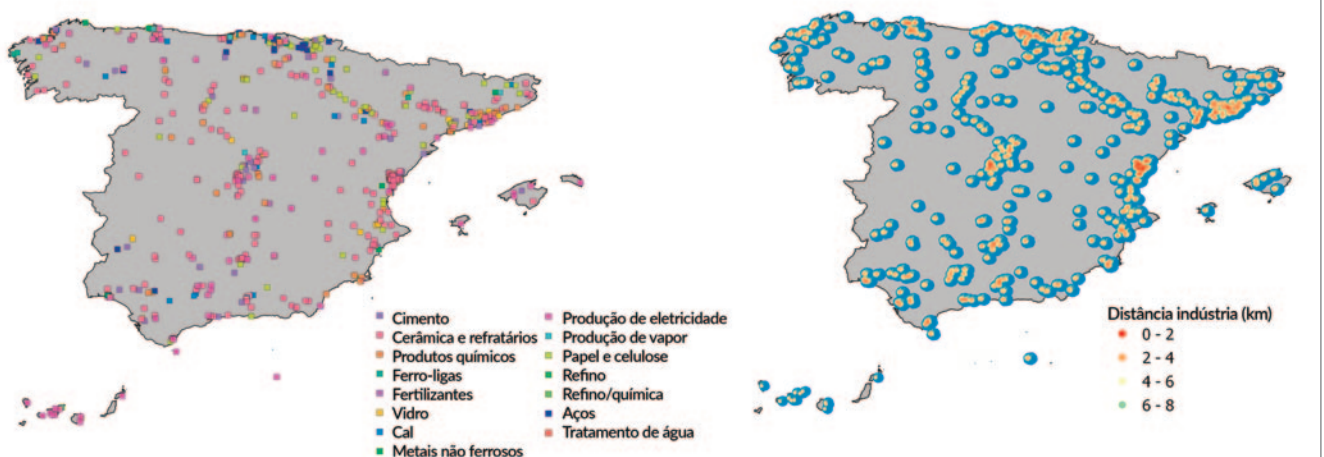
Fonte: MITMA

projetos atuais, atribuindo pesos com base na localização dos projetos existentes. Esses pesos podem ser específicos ao valor, levando em conta as preferências (por exemplo, usina renovável dedicada, diferentes tipos de off-takers, tipo de transporte etc.). Além disso, a ponderação desses critérios, ou a inclusão desses critérios, dependerá de cada caso específico. Por exemplo, no caso da produção de hidrogênio para o transporte marítimo, sem injeção de hidrogênio na rede, o critério de distância dos pontos de injeção de hidrogênio não seria levado em conta.

Exemplos de critérios são:

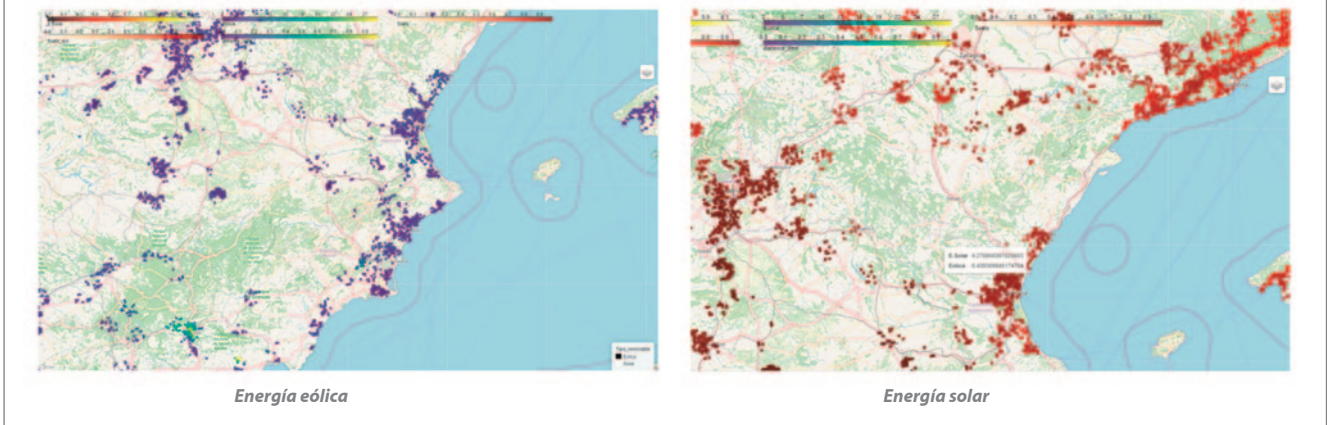
- Fator de capacidade solar/eólica
- Índice de sensibilidade ambiental
- Tipo de terreno (pluvial, irrigado, etc.)
- Distância até as subestações de eletricidade.
- Distância até os pontos de injeção da rede de gás.
- etc.

Figura 34. Consumidores potenciais na Espanha.



Fonte: Registro Europeu de Emissões e Transferências de Contaminantes (E-PRTR).

Figura 35. Exemplo de locais adequados selecionando as variáveis ISA e a distância até as subestações.



Distribuição de projetos existentes

A dinâmica do setor de hidrogênio está experimentando um crescimento sem precedentes na Espanha e na Europa. Como parte de sua missão de disseminar informações, a Cátedra de Estudos Sobre o Hidrogênio criou a plataforma de visualização de projetos de hidrogênio, uma ferramenta que oferece uma visão geral dos projetos de produção de hidrogênio existentes ou planejados na Espanha e em Portugal, incluindo informações relevantes como:

- Status dos projetos.
- Investimento.
- Capacidade de eletrólise.
- Ano de conclusão.
- Esquema de conexão e capacidade instalada de geração renovável (se aplicável).
- Promotor.
- Tipo de off-taker: indústria (por exemplo, amônia, metanol, refino, aço), mobilidade terrestre, mobilidade marítima, entre outros.

Dessa forma, ele contribui para o cumprimento do Roadmap do Hidrogênio, permitindo o monitoramento do cumprimento de seus objetivos em relação à capacidade de eletrólise, ao número de usinas de hidrogênio, ao número de veículos ou ao investimento.

As informações fornecidas nesses mapas são preparadas usando as melhores informações disponíveis publicamente a partir de fontes de informações externas referenciadas. O mapa é atualizado periodicamente, embora, devido às limitadas informações públicas disponíveis, possa ser impreciso em relação a alguns projetos individuais, mas útil como uma visão geral da implantação da economia do hidrogênio na Espanha.

A ferramenta interativa está disponível na Web . A Figura 38 mostra uma imagem da interface criada.

⁶⁸Cátedra de Estudos Sobre o Hidrogênio: <https://www.comillas.edu/catedra-de-estudios-sobre-el-hidrogeno/mapa-proyectos>

Figura 36. . Interface da Web do mapa de projetos de produção de hidrogênio renovável na Espanha e em Portugal.

