

Revista Brasileira de Cartografia (2017), N° 69/3: 473-494  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## APLICAÇÃO GEOGRÁFICA NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM POTENCIAL PARA GERAR ENERGIA POR FONTES RENOVÁVEIS

*Geographic Application in the Identification of Areas with Potential to Generate Renewable Sources of Energy*

**Vivian da Silva Celestino<sup>1</sup> & Rui Pedro Julião<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Eletrosul Eletrobras**

**Departamento de Gestão Ambiental e Fundiária**

Rua Deputado Antônio Edu Vieira, 999 - CEP 88040-901 - Florianópolis - SC – Brasil  
viviancart@yahoo.com.br

**<sup>2</sup>Universidade Nova de Lisboa - UNL**

**Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais (CICS.Nova)**

1069-061, Lisboa, Portugal  
rpj@fcsh.unl.pt

*Recebido em 8 de Junho, 2016/ Aceito em 16 de Fevereiro, 2017*

*Received on June 8, 2016/ Accepted on February 16, 2017*

### RESUMO

O mundo enfrenta um desafio na busca de alternativas para atender a demanda de energia para aumentar seu desenvolvimento econômico e social de forma sustentável e diminuir a emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE). Uma maneira de minimizar esses efeitos e expandir o parque gerador é incrementar a produção com o recurso de fontes renováveis. Mas para que, no momento de instalar um novo empreendimento, seja tomada uma decisão assertiva é necessário inovar tecnologicamente, realizando a compilação de informações e variáveis que sejam pertinentes ao tema de geração de energia de forma sustentável e que levem em consideração o espaço geográfico inerente. O objetivo deste trabalho é apresentar um método desenvolvido em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), representar o modelo em seu universo conceitual, produzir uma aplicação em *Modelbuilder* e aplicar o modelo em uma determinada área de estudo de forma a identificar áreas potenciais para gerar energia por fontes renováveis.

**Palavras-chave:** Energia Renovável, Modelagem Geográfica, Modelagem Conceitual, *Modelbuilder*.

### ABSTRACT

The world faces a challenge in finding alternatives to meet the electricity demand sustainable way and reduce the emission of greenhouse gases. A way to minimize these effects and expand the generating capacity is to increase production using renewable sources. But to make an assertive decision when installing a new power plant it is necessary to innovate technologically, making the compilation of information and variables that are relevant to the theme of sustainable energy generation and take into consideration the geographical area. The objective of this paper is to present a project developed in Geographic Information Systems (GIS), represent the model in its conceptual universe, produce an application in *Modelbuilder*, and apply the model in a particular area of study in order to identify potential areas for generating energy from renewable sources.

**Keywords:** Renewable Energy, Geographic Modeling, Conceptual Modeling, Model Builder.

## 1. INTRODUÇÃO

São consideradas energias renováveis ou suaves todas aquelas que utilizam as forças da natureza para gerar energia sem agredir o meio ambiente, como as unidades de produção a partir de biomassa, da geotermia, da velocidade e constância dos ventos (eólica), dos gradientes solares ou das hídricas de pequeno formato. Todas as fontes, independentes de sua proveniência, possuem problemas e devem ser analisadas no seu âmbito e dimensão, pois qualquer desenvolvimento energético ou industrial deve ser objeto de um estudo de avaliação de seu impacto social e ambiental, levando em conta não somente as lógicas econômicas, mas principalmente as ambientalmente sustentadas (ELOY, 2009).

Fontes renováveis de energia têm sido pesquisadas por diferentes áreas com objetivo de buscar alternativas para atender a demanda de energia elétrica de forma sustentável, pois a combustão de energias fósseis (petróleo, gás e carvão) é responsável por dois terços das emissões mundiais dos Gases de Efeito Estufa (GEE), seguida do desmatamento por 17% e da agricultura por 15,5%.

O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) conclui que algumas mudanças poderiam ser repentinas e irreversíveis. O aumento do nível do mar e extensas perdas de biodiversidade são apenas dois entre uma variedade de possíveis consequências. Sem contar a expectativa de que até o final do século XXI as temperaturas aumentem em média 2<sup>o</sup> Celsius se não forem tomadas medidas emergenciais para reduzir a emissão dos GEE.

A água, recurso natural mais abundante na Terra, é uma das poucas fontes para produção de energia que não contribui para o aquecimento global. Mas mesmo sendo considerada renovável, a participação da água na matriz energética mundial é pouco expressiva (ANEEL, 2008).

A redução da fonte hídrica na participação da matriz energética tem a ver com o esgotamento das reservas. Nos últimos 30 anos, de acordo com levantamentos da *International Energy Agency* (IEA) (2009), a oferta de energia hidrelétrica aumentou em apenas dois locais do mundo: Ásia, em particular na China, e América Latina, em função do Brasil, país em que a hidroeletricidade responde pela maior parte da produção da energia

elétrica, em torno de 70%. Nesse mesmo período, os países desenvolvidos já haviam explorado todos os seus potenciais, o que fez com que o volume produzido registrasse evolução inferior ao de outras fontes, como o gás natural e a nuclear.

No Protocolo de Kyoto de 1997 foi acordada a redução das emissões das principais substâncias responsáveis pelo aquecimento da atmosfera aos 36 países industrializados que o ratificaram, bem como os países com economias em transição. O protocolo impôs “objetivos diferenciados” de acordo com os países como, por exemplo, de 8% para o conjunto da União Europeia, ou de 6% para o Canadá e o Japão. Os países emergentes, dentre eles a China (que se converterá no principal contaminante mundial), Índia ou Brasil, estão exonerados das reduções, do mesmo modo que os países em desenvolvimento, apesar de seu crescimento excepcional (ONUDI, 2013).

Para o cumprimento dos compromissos políticos impostos pelo Protocolo, são necessários investimentos sociais e financeiros, seja através de pesquisas e incentivos para utilização de energia elétrica de forma sustentável nas esferas industrial, comercial e residencial, seja na utilização consciente da energia gerada. Mas para que isso aconteça é necessário, primeiramente, identificar geograficamente as áreas com os maiores potenciais para gerar energia por fontes renováveis.

Para que seja tomada uma decisão assertiva, em relação à definição desses espaços, é necessário realizar a compilação de variáveis que sejam pertinentes aos temas econômico, social e financeiro, vinculados a dados e informações da Terra distribuídas de forma espacial. Quando a informação produzida necessita ser espacializada geograficamente como um conhecimento para permitir a tomada de decisão, o conceito de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) surge como uma ferramenta.

Os SIG são um conjunto/sistema de *hardware*, *software* e procedimentos concebidos para apoiar o recolhimento, a gestão, a análise, a modelagem e a visualização de dados georreferenciados para solucionar problemas de planejamento e de gestão (MENDES, 2013). A utilização de SIG, por associar variáveis qualitativas e quantitativas, garante um resultado de qualidade, com menor custo associado e em menor tempo.

No trabalho de Farina (2009), por exemplo, foi investigada a potencialidade de fontes de energias renováveis, através da geração de valor agregado às atividades com vocação regional de forma a colaborar com a diminuição do impacto ambiental. O resultado obtido foi a elaboração de um produto de SIG representativo do potencial energético da planície costeira do Rio Grande do Sul – Brasil. A autora, entretanto, não apontou localmente em seu método, quais áreas são mais ou menos propensas a receber um projeto de engenharia com vistas à produção elétrica.

Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho é apresentar uma aplicação desenvolvida em SIG, a fim de identificar os locais mais apropriados para instalar projetos de geração de energia por fontes renováveis. Especificamente: definir os produtos cartográficos e/ou meteorológicos para extrair as informações para identificação do potencial gerador; produzir um modelo conceitual universal no padrão *Object Modeling Technique for Geographic Applications* (OMT-G) e produzir uma aplicação em *ModelBuilder* (tecnologia ArcGIS da ESRI) em uma determinada área de estudo.

## **2. CONCEITUAÇÃO TEÓRICA**

Os conceitos apresentados a seguir apresentam as definições acerca das fontes renováveis, SIG e demais fundamentos necessários ao entendimento do trabalho.

### **2.1 Energia Hidrelétrica**

Dentre as energias renováveis, a energia hidrelétrica é a principal aliada na geração limpa, autóctone e inesgotável, constituindo uma das principais fontes de eletricidade (ONUDI, 2013), porém, apresentam um risco ligado à sua dimensão. O banco mundial desde 1997 nos seus relatórios ambientais pronuncia-se contra as grandes barragens por serem econômica e ambientalmente um desperdício. Em contrapartida, as pequenas barragens são consideradas, além de um benefício ambiental, uma fonte renovável de energia, desde que sejam corretamente geridas.

A energia hidrelétrica é gerada pelo aproveitamento do fluxo das águas em uma usina. As principais variáveis utilizadas na classificação de uma usina hidrelétrica são: altura da queda de água, vazão, capacidade ou potência instalada,

tipo de turbina empregada, localização, tipo de barragem e reservatório. Todos são fatores interdependentes. Assim, a altura da queda de água e a vazão dependem do local de construção e irá determinar qual será a capacidade instalada que, por sua vez, determina o tipo de turbina, barragem e reservatório (ANEEL, 2008).

Em grande escala a fonte de energia hídrica tem um campo de expansão limitado devido a aspectos de caráter financeiro, ambiental e social. Em pequena escala (na maior parte dos países com uma potência instalada menor ou igual a 10 MW), a geração hidrelétrica com pequenas usinas oferece possibilidades de crescimento, em razão da diversidade de vazões que ainda são suscetíveis de aproveitamento (ONUDI, 2013).

De acordo com Cerdeira (2010) em Portugal todas as centrais com potência inferior a 10 MW são designadas como Centrais Mini-Hídricas, sendo a sua maioria exploradas com a utilização da tecnologia a fio d'água. Esse limite é geralmente utilizado internacionalmente como fronteira de separação entre as pequenas e as grandes centrais hidrelétricas.

No Brasil, para ser considerada uma PCH, a usina deve ter, no máximo, uma área alagada até 1,3 km<sup>2</sup> e uma altura de queda entre 3 m e 10 m de altura, além da potência instalada estar entre 1,1 MW e 30 MW.

Em Portugal a energia hidráulica é a forma de produção energética mais antiga utilizada. Em meados de 2010 existiam cerca de 5000 MW instalados que representavam cerca da metade do potencial nacional. Em um ano hidrológico médio, a energia hídrica representa cerca de 25% do total da eletricidade consumida no país (ELOY, 2009). De acordo com Almeida (2005) Portugal tem uma posição modesta, com um aproveitamento de 58% do potencial hídrico explorado.

### **2.2 Energia Eólica**

A energia dos ventos é considerada uma fonte renovável, amplamente disponível, limpa e com baixo impacto ambiental, principalmente por não emitir resíduos como gás carbônico. A energia eólica é, basicamente, aquela obtida da energia cinética (do movimento) gerada pela migração das massas de ar provocada pelas diferenças de temperatura existentes na superfície do planeta. A geração eólica ocorre

pelo contato do vento com as pás do catavento, elementos integrantes da usina. Ao girar, essas pás dão origem à energia mecânica que aciona o rotor do aerogerador e produz a eletricidade (ANEEL, 2008).

De acordo com o estudo da *Global Wind Energy Council* (GWEC), nos últimos 16 anos, a capacidade instalada de geração de energia eólica mundial passou de 6,1 Giga Watt (GW) para 282,4 GW e somente em 2012 a matriz eólica do planeta cresceu 19%. Os países que mais fazem uso dessa energia são a Alemanha, Estados Unidos, Espanha, Índia, China, Dinamarca, Itália, França, Reino Unido e Portugal (AMARANTE *et al.*, 2009).

A energia eólica apresentava em 2009 maior potencial de crescimento no mundo e foi considerada fundamental para o estabelecimento de metas em Portugal, onde a capacidade instalada de energia rondava em dezembro de 2006 os 1700 MW e em 2013 já havia subido para 4730 MW. Normalmente as zonas mais ventosas são as terras altas e as grandes áreas livres sem barreiras. Com a tecnologia atual, a instalação de uma turbina é interessante quando o local estiver sujeito a apenas ventos com velocidade média diária superior a 3,6 m/s, persistentes e regulares e, com baixas intensidades de turbulência (ELOY, 2009).

No Brasil a capacitação tecnológica da indústria e o custo decrescente da eletricidade de origem eólica, quando associados ao enorme potencial eólico nacional (143,5 GW - CEPEL, 2001), indicam que essa forma de geração poderá ocupar, em médio prazo, um importante papel no país, principalmente atuando como fonte descentralizada e complementar de energia acoplada a rede elétrica. No entanto, segundo a mesma fonte de informação, boa parte do território brasileiro, incluindo praticamente toda a região amazônica e central do Brasil, não apresenta condição de vento adequada para geração de eletricidade.

A evolução da tecnologia permitiu o desenvolvimento de equipamentos mais potentes. No entanto, a densidade do ar, a intensidade, direção e velocidade do vento relacionam-se a aspectos geográficos naturais como relevo, vegetação e interações térmicas entre a superfície da terra e a atmosfera. A energia eólica necessita que existam condições naturais específicas e

favoráveis e a avaliação destas condições – ou do potencial eólico de determinada região – requer trabalhos sistemáticos de coleta e análise de dados sobre a velocidade e o regime dos ventos (ANEEL, 2008).

## 2.3 Energia Solar

A energia solar apresenta-se cada vez mais como uma grande solução energética para o planeta, é uma fonte inesgotável, gratuita e não poluente (ELOY, 2009). Chega à Terra nas formas térmica e luminosa. Essa radiação, porém, não atinge de maneira uniforme toda a crosta terrestre, depende da latitude, da estação do ano e de condições atmosféricas como nebulosidade e umidade relativa do ar. Ao passar pela atmosfera terrestre, a radiação manifesta-se sob a forma de luz visível, raios infravermelhos e ultravioletas. É possível captar essa luz e transformá-la em calor. Se for utilizada uma superfície escura para a captação, a energia solar será transformada em calor e se utilizadas células fotovoltaicas, o resultado será a eletricidade (ANEEL, 2008).

O Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo o ano (TIBA, 2000) e (COLLE & PEREIRA, 1998), onde são utilizados os sistemas térmico e fotovoltaico. O primeiro é mais encontrado nas regiões Sul e Sudeste do país, devido a características climáticas, e o segundo, nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica.

O ritmo de crescimento da potência fotovoltaica instalada nos últimos anos superou todas as previsões, demonstrando o potencial desta tecnologia como fonte de energia em todo o mundo. Dispondo de 2300 a 3000 horas de sol por ano, Portugal está em situação privilegiada para a utilização da energia solar (ELOY, 2009).

## 2.4 Modelagem Geográfica

A modelagem geográfica ganhou relevância nos últimos anos, fruto dos desenvolvimentos metodológico e tecnológico. Por um lado a Geografia e outras ciências ligadas à Terra têm desenvolvido ferramentas de análise e, por outro lado, as componentes de *hardware* e *software* também evoluíram substancialmente. Em simultâneo, a existência de vários projetos de produção e disponibilização de dados veio

complementar a oferta e proporcionar o suporte para a implementação e teste dos modelos. A modelagem é o processo de geração de elementos adicionais a partir de conjuntos de dados existentes.

### 2.4.1 Modelagem Conceitual

A modelagem conceitual, de acordo com Hadzilakos *et al* (2000), se aproxima do foco dos padrões de intercâmbio de informação geográfica, pois atua na formalização de dados geoespaciais através da resolução de diferenças na base dos modelos de dados, estrutura dos dados, primitivas espaciais e no relacionamento entre diferentes SIG.

A modelagem conceitual permite o compartilhamento de dados geográficos em um nível semântico e estrutural. O nível estrutural se refere ao modelo de dados empregado para definir a estrutura dos dados geográficos num sistema. E o nível semântico trata da representação conceitual dos dados geográficos presentes no sistema, ou seja, permite a compreensão do significado do dado geográfico para um dado sistema (LIMA JÚNIOR, 2002; MEDEIROS & ALENCAR, 1999).

Segundo Lisboa Filho *et al* (2000) entre os modelos conceituais para dados geográficos mais conhecidos estão os do formalismo orientado à objetos (OO), tais como: GeoOOA, MADS, OMT-G e UML-GeoFrame.

### 2.4.2 Object Modeling Technique for Geographic Applications (OMT-G)

O OMT-G é uma técnica de modelagem criada nos anos 80 para o formalismo OO (CRAVEIRO, 2004) que acrescenta primitivas ao diagrama de classes da *Unified Modeling Language* (UML) para modelar a geometria e a topologia dos dados geográficos, oferecendo estruturas de agregação, especialização, generalização, rede e de associações espaciais (BORGES, 2002). Tem como base três conceitos principais: classes, relacionamentos e restrições de integridade espaciais.

As classes podem ser convencionais ou georreferenciadas que possuem subclasses e semiologia que as identifica e que representam os grupos de dados, que podem ser contínuos, discretos e não espaciais (Ver Figura 1). Cada classe é representada por um retângulo,

subdividido em linhas. Na parte superior é especificado o nome da classe, no meio são delineados os seus atributos e na parte inferior suas operações. As classes georreferenciadas, além de possuírem as características das classes convencionais, detêm propriedades geométricas, as quais são representadas através de um símbolo apropriado na primeira linha do retângulo.

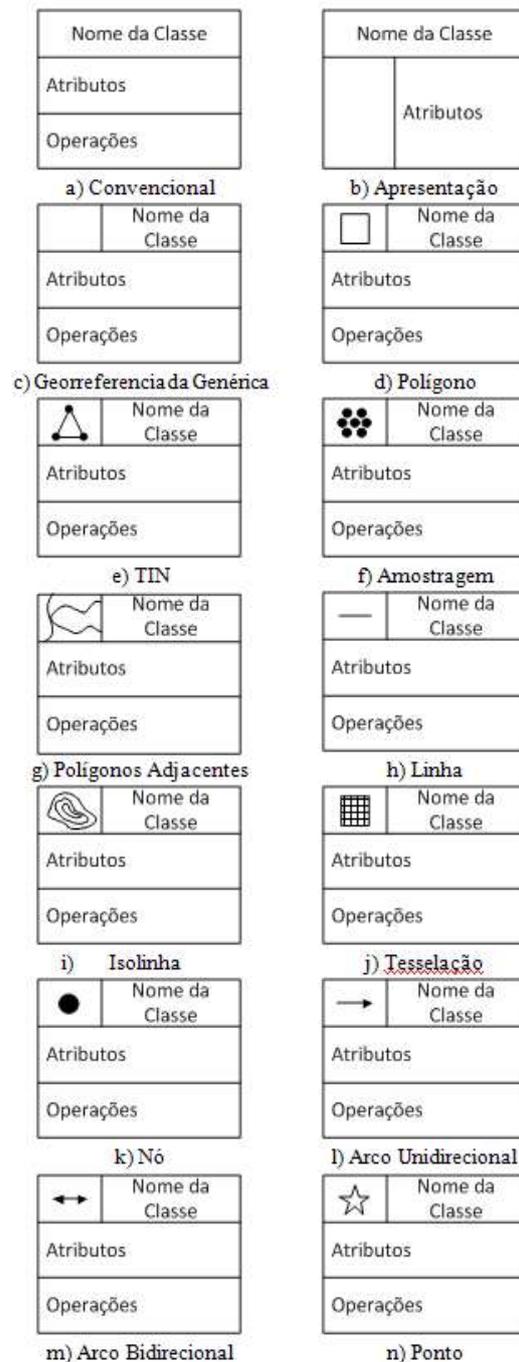


Fig. 1 - Classes do Diagrama OMT-G.

As classes georreferenciadas possuem subclasses do tipo Geo Campo e Geo Objeto. As classes são associadas por relacionamentos que, de acordo com Borges (1997), no modelo

OMT-G são definidos três tipos diferentes: associações simples, associações espaciais e associações topológicas em rede. A associação simples representa o relacionamento entre objetos de duas classes distintas e são representadas por: uma linha que interliga as duas classes, o nome da ligação e uma seta em cima da linha, indicando a direção do relacionamento (Figura 2a). A associação espacial é utilizada para definir a relação entre duas classes georreferenciadas, para representar uma relação topológica, métrica, de ordem ou *fuzzy*. Ela é representada por uma linha pontilhada (Figura 2b).

Os relacionamentos são caracterizados por sua cardinalidade, que representa o número de instâncias de uma classe que podem estar associadas a instâncias da outra classe. É um tipo de restrição de integridade e aparece nos finais de cada linha, na forma “mínimo...máximo”, onde mínimo e máximo são números inteiros, zero, um ou \* (indicando mais de uma ocorrência). Ex: 0...\* (zero ou mais), 1...\* (um ou mais), 1 (exatamente um), 0...1 (zero ou um). Quando não consta indicação de cardinalidade na associação, significa que os valores de mínimo e máximo equivalem a 1 (HÜBNER, 2009).

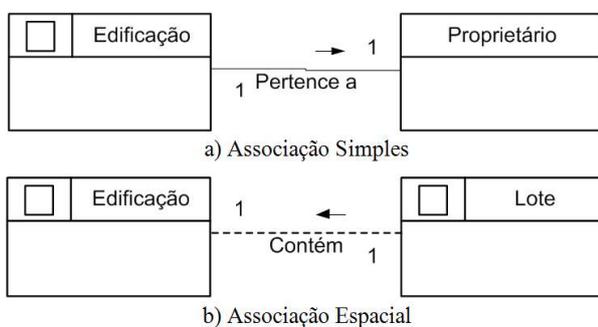


Fig. 2 - Representação das associações do OMT-G. Fonte: Borges (1997).

### 2.4.3 Modelagem Lógico/Física

A modelagem lógica é uma representação específica de um modelo interno que utiliza as estruturas específicas suportadas pelo *software* escolhido. É nesta modelagem que serão definidos os padrões e nomenclaturas, chaves primárias e estrangeiras, sempre levando em consideração o modelo conceitual criado anteriormente, com dependência de *software*.

O projeto lógico implica na transformação do esquema conceitual em um esquema de dados compatível com tipo de modelo utilizado. Nesta fase é realizado o mapeamento dos conceitos de abstração, utilizados no esquema conceitual, em elementos de representação de dados do modelo escolhido (LISBOA FILHO *et al*, 2000; LAGO, 2006).

Já a modelagem física apresenta o menor nível de abstração, pois descreve o modo como os dados são salvos, onde se exige a definição tanto dos dispositivos de armazenamento físico como dos métodos de acesso necessários para se chegar aos dados, o que o torna dependente tanto de *software* como de *hardware*.

No projeto físico são definidos os aspectos de implementação física (tipos de dados, estruturas de armazenamento de arquivos, caminhos de acesso, particionamento, agrupamento, etc.), com base no modelo a ser utilizado, permitindo ao projetista planejar aspectos ligados à eficiência.

### 2.4.4 ModelBuilder

O mapeamento de um esquema conceitual para o esquema lógico e esquema físico pode ser realizado de forma automática por uma ferramenta CASE, que consiste em um *software* de desenho gráfico (PEREIRA e LISBOA FILHO *et al*, 2002). O desenvolvimento de aplicações SIG com base no uso de ferramentas CASE reduz tempo e custos de criação do projeto e aumenta a qualidade dos dados, contudo, dificuldades são encontradas no uso destas ferramentas devido aos diferentes modelos de dados adotados pelos *softwares* de SIG. Como não há um modelo padronizado de representação de dados geoespaciais, a qualidade dos dados é comprometida quando da troca de dados entre SIG distintos (LISBOA FILHO *et al*, 2000).

Para os usuários de ArcGIS existe a opção de desenvolver todo o projeto lógico/físico com a ferramenta *ModelBuilder* que é uma linguagem de programação visual para a construção de fluxos de trabalho de geoprocessamento. No *ModelBuilder* os modelos podem ser criados e modificados e são representados como diagramas que agrupam sequências de processos e ferramentas de geoprocessamento, utilizando a saída de um processo como a entrada de um outro.

De acordo com Cosme (2012) o *ModelBuilder* é uma ferramenta de apoio essencial na operacionalização dos modelos conceituais. Trata-se de um instrumento que, muito mais do que permitir o desenho do modelo, testa o procedimento, validando-o e permitindo a sua operacionalização, podendo ser considerado uma ferramenta de programação gráfica que reúne funções de geoprocessamento e permite a elaboração de modelos (processos) que podem ser utilizados em múltiplas ocasiões. O seu uso é vantajoso, pois permite visualizar graficamente a separação dos processos, os fluxos de informação e seu processamento. Possui ainda como vantagem a utilização de múltiplos contextos, desde a análise multicritério à simulação e parametrização de cenários, bem como a não utilização de códigos para gerar os processos e a execução de novos modelos a qualquer momento a partir de uma predefinição (modificação de parâmetros) para produção de novos resultados.

De acordo com Silva (2015) o *ModelBuilder* permite a criação de modelos a partir de fluxos que unem uma sequência de ferramentas necessariamente presentes no *ArcToolbox* e base de dados e, permite tanto criar fluxos de rotina de trabalho quanto novas ferramentas. Sua finalidade é o processamento de grande quantidade de dados em sequência.

## **2.5 Modelagem de Vento**

As modelagens de vento são procedimentos estatísticos efetuados a fim de garantir que as análises relativas ao vento contenham menor nível possível de incerteza na identificação do recurso eólico de cada região. Um dos parâmetros mais importantes para estimar-se corretamente o regime eólico de uma determinada região é o mapa topográfico local do projeto, pois este afeta diretamente a modelagem do escoamento de ventos em um parque eólico. Terrenos complexos são áreas de criticidade elevada, visto que qualquer erro na modelagem das curvas de nível poderá levar a altos erros nas estimativas de energia (PEREIRA, 2016).

De acordo com Pereira (2016) a modelagem computacional é uma ferramenta de grande importância na avaliação do potencial energético de determinadas regiões. Para obter um maior nível de confiabilidade possível na estimativa de recurso eólico na posição dos aerogeradores em

um determinado parque eólico, seria necessária a instalação de uma torre de medição em cada posição de turbina eólica, para medição das condições do vento em cada ponto de interesse. Na etapa de pré-projeto, entretanto, torna-se inviável economicamente e fisicamente a instalação de tantas torres de medição em uma mesma área. Desta forma, para se prever a velocidade do vento em diversos pontos baseando na velocidade medida em um único ponto próximo, se utilizam modelos computacionais.

Para um estudo de boa precisão são utilizados *softwares* de microescala que simulam as distribuições de vento causadas pela orografia, rugosidade e obstáculos presentes nos mapas, determinando como seria o comportamento do vento acima da camada limite atmosférica, que de acordo com Pereira (2016), é denominado vento geostrófico. O modelo computacional extrapola horizontalmente o vento geostrófico sem considerar interferências externas em seu perfil. A modelagem é finalizada ao incluírem-se os efeitos topográficos, efeitos de rugosidade e efeitos criados por obstáculos para cada posição de interesse das regiões estudadas, individualmente.

Deve ser levada em consideração na modelagem a intensidade de turbulência do vento que é definida em um escoamento como a razão do desvio padrão da velocidade do vento e a velocidade média da corrente livre na mesma direção considerada usualmente definida em médias de 10 minutos ou 1 hora (CUSTÓDIO, 2013).

Desta forma, conforme Pereira (2016), a intensidade de turbulência pode ser considerada uma flutuação da velocidade de vento numa determinada escala de tempo. A turbulência é gerada principalmente pelo atrito com a superfície terrestre e por efeitos térmicos que podem causar movimentos verticais de massas de ar resultantes das diferenças de temperatura, originando um movimento de células convectivas que por sua vez provocam, em larga escala, vórtices de turbulência (JERVEL, 2008). A intensidade de turbulência tende a decrescer com o aumento da altura.

### **2.5.1 Software Windographer**

O *software* Windographer® é uma ferramenta computacional utilizada para modelagem de vento, ou seja, realiza o tratamento

de dados coletados de estações meteorológicas de superfície e calcula a intensidade e a direção predominante dos ventos num determinado período, fornecendo o perfil diário, mensal ou anual da sequência de dados. O *software* pode exibir diversos gráficos e tabelas como do perfil logarítmico do vento, direção, médias mensais e diárias. Foi desenvolvido por Mistaya Engenharia INC e é disponibilizado gratuitamente uma versão de teste válida por um período entre 7 e 14 dias dependendo da versão (LINARD, 2010).

Com o Windographer® também é possível realizar a simulação de velocidades dos ventos em diversas alturas a partir de um pacote de dados medidos em uma única altura. O perfil logarítmico do vento pode ser calculado informando o parâmetro de rugosidade e, utilizando a fórmula da lei de potência informando o expoente da lei de potência. O mais comum é a simulação da velocidade sintetizada do vento na altura das torres anemométricas (80 m, 100 m ou 150 m), para tanto necessita como *input* da inserção de dados coletados em variadas alturas de velocidade e direção do vento para este cálculo, combinadas das outras séries de dados que são solicitados pelos *software*: latitude, longitude, elevação, data de início, data de término, duração, intervalo de tempo, *Calm threshold* (limiar de calma), temperatura, pressão, umidade relativa do ar, velocidade de vento e direção do vento em diferentes alturas, velocidade vertical, rugosidade, entre outros. O *software* retorna como resultados relatórios em forma de gráficos ou tabelas, de acordo com a listagem do Quadro 1.

Quadro 1: Resultados Gerados pelo Windographer.

Gráfico ou Tabela	Descrição
Perfil Vertical de Vento	Apresenta a velocidade média do vento em várias alturas, bem como o perfil com a função logarítmica que melhor se ajusta a lei de potência.
Rosas dos Ventos	Mostra a frequência com que o vento sopra em cada direção.
Perfil Mensal de Velocidade de Vento	Apresenta a velocidade média do vento em cada mês do ano para várias alturas. Em conjuntos de dados abrangendo vários anos, as médias mensais incluem valores de todos os anos.
Perfil Diário de Velocidade de Vento	Apresenta a velocidade média do vento para cada hora do dia em várias alturas.

Fonte: AWS Truepower LLC (2015).

## 2.5.2 Interpolação Automática

Como as modelagens de vento são realizadas individualmente para cada estação, para recobrir uma área com várias estações é necessária a realização de interpolações automáticas a fim de verificar a velocidade média de vento simulada.

A técnica de interpolação da função *Topo to Raster* foi desenhada com o objetivo específico de converter dados vetoriais em modelos hidrológicos de elevação de terreno exatos. O método se utiliza da eficiência computacional da interpolação local, como o *Inverse Distance Weighting* (IDW), sem perder a continuidade superficial dos métodos global de interpolação, como Krigagem e *Spline* (NOGUEIRA & AMARAL, 2009).

No trabalho de Marcuzzo *et al* (2011), por exemplo, executou-se um estudo de diferentes tipos de metodologias de interpolação matemática (IDW, Krigagem, *Spline* de Tensão e *Topo to Raster*) na geração de mapas de distribuição espacial de precipitação pluviométrica. Os autores concluíram que, para os dados utilizados a técnica de interpolação que apresentou os melhores resultados, dentre os vários estudados, foi o *Topo to Raster*, pois proporcionou as mais adequadas isoietas e apresentou a grande maioria dos pontos interpolados dentro das isolinhas com os valores pré-estabelecidos, além de possuir maior suavidade das isolinhas e por coincidir melhor com as características altimétricas da região.

No trabalho de Celestino (2014) pode ser verificada a descrição de diferentes interpoladores para diversas finalidades, bem como a escolha da técnica *Topo to Raster* para realizar interpolações de diferentes curvas de nível para gerar modelos digitais de elevação em detrimento de outros interpoladores.

## 3. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo definida (ver Figura 3) abrange, principalmente, o Alentejo e o Algarve, relativa a área de 26092,78 Km<sup>2</sup>, aproximadamente 30% da área total de Portugal Continental, que se situa no sudoeste da Europa, na zona temperada do Norte, entre as latitudes 32° e 42° Norte.

No geral o clima de Portugal é mediterrâneo, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger. Portugal em sua parte continental, dos países europeus, está entre os que possuem o clima mais ameno, com temperatura média anual variando entre os 4 °C no interior norte montanhoso até os 18 °C no sul, na bacia do Guadiana. Sendo que, na parte sul, o verão é quente e mais longo, com 5 a 6 meses secos e um inverno ameno e pouco chuvoso com menor precipitação. A precipitação total anual média no Alentejo e Algarve fica em torno de 600 mm.

Normalmente, os meses de primavera e verão são ensolarados e as temperaturas são altas. Os meses de Julho e Agosto são secos e as temperaturas ultrapassam os 40 °C, em dias extremos, principalmente, no interior do Alentejo. O país possui em torno de 3000 horas de sol por ano, variando suas médias entre 4 e 6 horas de sol no Inverno e entre 10 e 12 horas de sol no Verão, com valores superiores no sudeste e inferiores no noroeste da parte continental.

Em relação a vegetação, ao sul do rio Tejo predomina a vegetação mediterrânica, com espécies arbóreas como a azinheira, o sobreiro, a oliveira e a alfarrobeira.

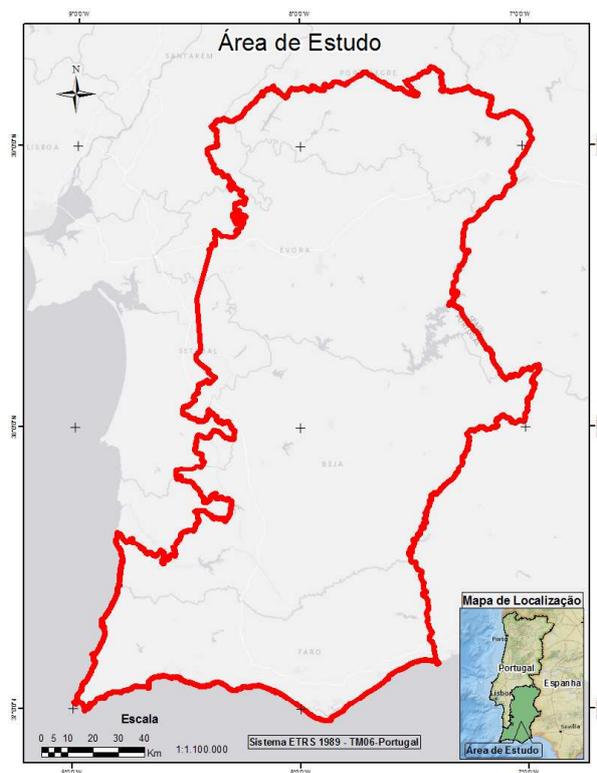


Fig. 3 – Área de Estudo.

## 4. MATERIAIS E MÉTODO

Neste item está descrita a definição dos materiais utilizados, bem como dos métodos utilizados na execução do trabalho.

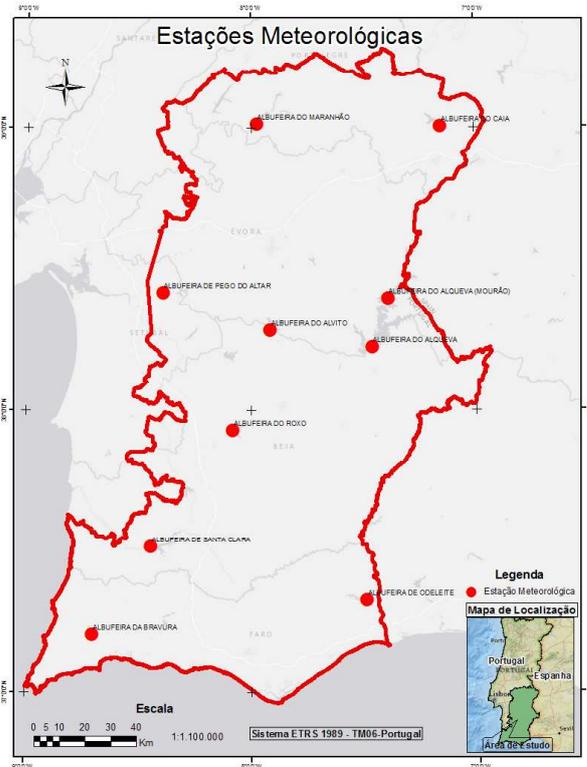


Fig. 4 - Estações Meteorológicas.

### 4.1 Materiais

Foram definidos e utilizados os seguintes produtos cartográficos e meteorológicos e softwares:

- Modelos Digitais de Elevação (MDE) do *Space Shuttle Topography Mission* (SRTM) com 90 m de *pixel*;
- Imagens LandSat 8 da *United States Geological Survey* (USGS) com 30 m de *pixel*;
- Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS2007) do Instituto Geográfico Português (IGP) compatível com a escala 1:50000;
- Estações Meteorológicas do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) de Portugal. Ver na Figura 4 a distribuição das estações meteorológicas utilizadas.
- Stencil OMT-G do Microsoft Visio 2010 com parâmetros e estereótipos do modelo OMT-G apresentados no item 2.5.2;
- *Software* Windographer (descrito no item 2.5.1);

- Ferramenta ModelBuilder do *Software* ArcGIS 10.2 da ESRI (descrita no ítem 2.4.4);
- *Software* ArcGIS 10.2 da ESRI.

## 4.2 Método

Para desenvolver o método proposto, primeiramente foi necessário realizar pesquisas em diferentes fontes bibliográficas e definir quais as matrizes de energia (por fontes renováveis) seriam utilizadas, levando em consideração as necessidades mundiais, bem como os recursos naturais ainda disponíveis.

A partir da definição das matrizes o segundo passo foi identificar quais informações e produtos convencionais, cartográficos e meteorológicos primários foram considerados fundamentais para gerar informações secundárias, bem como verificar a disponibilidade gratuita e digital.

Para o modelo conceitual foi definido a utilização de um padrão que seguisse o formalismo orientado à objeto, cuja aplicação pudesse suportar: a diferenciação entre fenômenos geográficos e convencionais e seus relacionamentos; modelagem nas visões de campo e de objetos; modelagem das características espaciais dos dados; representação de topologia e suas propriedades, como também as associações simples; organização de fenômenos por níveis de informação; ser independente de implementação (*software*).

Para a modelagem eólica foi definido um *software* de simulação de velocidade de vento com, pelo menos, disponibilidade gratuita por determinado prazo, que permitisse a extrapolação da velocidade de vento na altura necessária através de função logarítmica.

Para a aplicação do modelo foi definida a utilização de um *software* de SIG que produzisse modelos concomitantemente (lógico e físico) e que tivesse disponibilidade gratuita por determinado prazo.

Os procedimentos definidos estão descritos a seguir.

### 4.2.1 Definição das matrizes de energia elétrica

Definiu-se como matrizes de energia elétrica fontes renováveis em ampla utilização e/ou expansão no mercado de energia mundial que, nos últimos anos, tiveram grande impulso devido aos implementos tecnológico e de investigação, possuidoras de potenciais inesgotáveis:

- Pequena Central Hidrelétrica (PCH): com altura de queda de 10 m de altura e barramento de 150 metros;
- Eólica;
- Solar: térmico e fotovoltaico.

### 4.2.2 Definição de informações e produtos

Considerou-se fundamental para qualquer das três fontes definidas, seja hídrica, solar ou eólica, a utilização de MDE, donde possam ser derivadas as informações de altitude, inclinação, declividade e aspecto da superfície mapeada. Também são necessárias informações a respeito do uso e ocupação do solo, que podem ser advindas de classificações de imagens de satélite ou de aerofotogrametria ou de bases cartográficas temáticas, para definir as restrições que devem ser levadas em consideração no mapeamento de potencial energético. Para instalação de PCH devem ser levadas em consideração restrições como, por exemplo, zonas urbanas, áreas de preservação permanente, entre outros. Essenciais para o mapeamento de potencial eólico são os dados meteorológicos e climáticos advindos de estações meteorológicas para gerar, através de métodos isarítmicos, informações contínuas de toda a área mapeada, relativas à: intensidade ou velocidade de vento em três alturas diferentes, que deve ser sintetizada em *softwares* específicos para simular a camada de limite final para determinar o potencial eólico na altura do futuro aerogerador; direção de vento obtidos em três alturas diferentes, para geração da rosa-dos-ventos e da direção de vento predominante; velocidade vertical de vento; umidade relativa do ar; pressão atmosférica e; temperatura. Para a instalação de empreendimentos eólicos deve ser considerada, ainda, a rugosidade do território, bem como as inclinações acima dos 10 % como restrição. Para a instalação de empreendimentos solares deve ser levado em consideração como restrições as faces de terreno que não recebem sol (que modificam dependendo da região), bem como os impedimentos físicos como edificações que impedem o recebimento de luz.

### 4.2.3 Produção do Modelo Conceitual

A produção do modelo conceitual consistiu em um desenho/diagrama de classes que descreveu e fixou as regras para a estrutura construída, através da realização da análise

do comportamento dos atributos das variáveis geográficas e convencionais do mundo real e a sua representação na forma de classes de objetos e seus respectivos relacionamentos. Foram atribuídos domínios para os tipos de dados de acordo com suas características de armazenamento em meio computacional e estabelecidos os relacionamentos (associações) espaciais e não espaciais entre as classes de objetos, levando em consideração os diversos conceitos utilizados pelo modelo OMT-G. Após a definição das classes primárias fundamentais, foram sendo produzidas as classes secundárias, derivadas seja da superposição, agregação ou a inserção de classes e subclasses primárias e demais informações, bem como operações e funções. Tal estrutura visou à determinação do fluxo a ser seguido para mapear áreas com potencial para geração de energia, ou seja, foram definidos fluxos para as diferentes fontes estudadas, com classes e relacionamentos, donde resultaram, através de operações, classes indicativas do potencial isolado por fonte geradora, seja hídrica, eólica ou solar. Na prática a construção do modelo conceitual iniciou pela identificação dos objetos geográficos e convencionais do tema e o seu agrupamento em classes, de acordo com as bases definidas. As classes de fenômenos geográficos receberam representação conceitual conforme a visão de campos com as primitivas geométricas de ponto e tesselação. Após foi realizada a modelagem dos atributos espaciais e convencionais de cada classe de objetos, onde foram atribuídos domínios para os tipos de dados: *String*, *Boolean*, *Float* e *Date*.

#### **4.2.4 Produção da Aplicação do Modelo em *Modelbuilder***

Os três fluxos modelados conceitualmente no OMT-G foram produzidos em *ModelBuilder*. A construção deste modelo seguiu a sequência do modelo conceitual. Desta forma foi produzido o fluxo para a identificação de áreas com potencial para geração de energia por fonte hídrica (PCH), cujos parâmetros definidos foram considerados para indicar os possíveis locais ideais para se inserir um barramento de 150 m de largura com altura de queda de água de 10 m. Os demais locais foram considerados sem potencial,

embora seja possível identificar potenciais com diferentes alturas e larguras de barramento. A seguir foi desenvolvido o fluxo para o potencial eólico onde foram consideradas nulas as velocidades de vento menores do que 3,6 m/s. Com exceção dos dados semânticos relativos à fonte eólica que requereram modelagem prévia em *software* específico de simulação eólica e resultaram em uma classe geográfica de ponto denominada “velocidade de vento sintetizada”, utilizada como dado de entrada no *ModelBuilder*, toda a construção seguiu o modelo descrito conceitualmente. No modelo conceitual, entretanto, a classe “velocidade de vento sintetizada” foi considerada como secundária pois foi gerada através da agregação da classe geográfica “Estação Meteorológica” com a classe convencional “Dados Meteorológicos”. Para a identificação de áreas com potencial eólico foram utilizados os dados das estações meteorológicas (Figura 4) para modelar (simular) a camada de limite final (altitude do aerogerador de 80 m), com os atributos já descritos no item 2.5.1. Os dados de velocidade média de cada altura da estação meteorológica foram tabulados em Excel e após foram exportados para o *Windographer* que permitiu a extração da velocidade do vento simulada na altura de 80 m. Os dados originais de velocidade média de vento, bem como da velocidade simulada, para cada estação meteorológica estão sendo apresentados no Quadro 2. Foram necessários utilizar também, para a simulação, os dados relativos à altitude da estação, coordenadas planimétricas, data e hora de início da coleta e período de repetição dos dados (frequência). Foram utilizadas todas as informações horárias de velocidade de vento disponíveis para cada estação, não necessariamente foram utilizados o mesmo período de tempo para todo o conjunto, o que ocasiona uma grande limitação à análise da velocidade média de vento. No Quadro 2 pode ser observado que os dados médios de velocidade de vento não possuem um aumento de velocidade diretamente proporcional conforme aumenta a altura da coleta para todas as estações. Esta modificação nas velocidades de vento pode ser atribuída às diferentes intensidades de turbulência descritas no item 2.5. Após a simulação da altura do aerogerador para cada

estação, realizou-se a exportação das mesmas para o software ArcGIS 10.2 donde se interpolou, via função Topo to Raster (descrita no item 2.5.2), as informações de velocidade de vento simulada, para as demais áreas de abrangência. O modelo resultante rasterizado foi introduzido no fluxo proposto em ModelBuilder. Após esta etapa foi iniciada a produção do fluxo para identificação de áreas com potencial solar, seja fotovoltaico ou térmico. Para a construção do fluxo de energia solar ficou definida a utilização de faces de acordo com o caminhamento do sol como parâmetros para captação solar, para tanto utilizou-se o método Analytic Hierarchy Process (AHP). Como as variáveis mudam de acordo com a localização geográfica da área a ser estudada foram definidas como faces de sol as orientações do relevo com aspecto voltado para cima (flat) com potencial excelente, sul com potencial altíssimo, sudeste e sudoeste com potencial alto, leste e oeste com potencial médio, nordeste e noroeste com potencial baixo e norte com potencial nulo (considerando a localização geográfica de Portugal). Foi utilizada a função Area Solar Radiation do ArcGIS para calcular a radiação global da área de estudo. Esta função utiliza como dado de entrada um MDE. Foram inseridos como parâmetros: o ano de 2015; 14 h de radiação diária; frequência de 30 minutos; latitude geográfica média de 38,12° N; resolução do sky sise de 200; fator de difusão 0,3; transmissividade de 0,5 e; tipo de modelo de difusão céu uniforme. A radiação calculada global retorna o valor total acumulado

no ano, então foi realizado cálculo para obter o valor médio diário da radiação em kwh/m<sup>2</sup> utilizando a calculadora raster calculator. Foram obtidos valores diários globais médios absolutos (radiação absoluta). Para melhor representação da realidade do potencial solar foram consideradas as faces de sol para serem analisadas em conjunto com os valores de radiação global absoluta calculada. O resultado do potencial solar global absoluto foi sobreposto ao potencial por aspecto, o que derivou o potencial solar relativo. Para investigação do potencial solar não foi levada em consideração nenhum outro tipo de restrição, supondo-se que as instalações solar térmicas e/ou fotovoltaicas podem ser utilizadas em ambientes urbanos (telhados), bem como, inclusive, em reservatórios. No ModelBuilder todos os dados de entrada foram considerados como classes primárias e os dados de saída foram considerados classes secundárias e assim por diante, dependendo do relacionamento estipulado. Com exceção da modelagem eólica e de algumas ferramentas que funcionam fora do Toolbox do ArcGIS (como por exemplo o NDVI), todas as demais operações definidas no modelo conceitual foram implementadas no ModelBuilder para validar o modelo conceitual proposto. Foram utilizadas, para tanto, as seguintes operações: topo to raster, clip, fill, flow direction, flow accumulation, conditional, raster calculator, focal statistics, reclassify, snap pour point, slope, aspect, buffer, raster to point, polygon to raster, train maximum likelihood classifier, watershed e area solar radiation.

Quadro 2: Velocidade Média de Vento por Estação Meteorológica.

Estação Meteorológica	Período de coleta	Velocidade Média de Vento (m/s)			
		Altura 0 m	Altura 5 m	Altura 8 m	Altura 80 m
Albufeira do Maranhão	13/02/2005 - 25/07/2007	1,473	1,567	1,44	2,474
Albufeira de Santa Clara	15/04/2004 - 18/10/2007	1,861	1,975	1,920	2,907
Albufeira de Pego do Altar	01/09/2003 - 19/10/2007	1,194	1,132	1,302	3,105
Albufeira do Alvito	19/11/2003 - 25/09/2007	2,736	2,917	2,923	3,933
Albufeira do Roxo	26/07/2003 - 13/03/2007	1,802	1,857	1,943	4,063
Albufeira de Odeleite	04/09/2003 - 28/11/2007	2,586	2,503	2,581	4,438
Albufeira do Alqueva (Mourão)	07/04/2005 - 19/09/2007	3,000	2,990	3,163	4,543
Albufeira da Caia	10/10/2003 - 17/12/2006	2,786	2,982	3,185	5,013
Albufeira do Alqueva	13/09/2002 - 27/04/2009	2,766	2,689	2,868	5,482
Albufeira da Bravura	02/09/2003 - 30/07/2008	3,210	3,137	3,361	5,496

#### 4.2.5 Aplicação na Área de Estudo

Após ter sido gerado o modelo em *Modelbuilder* o mesmo foi aplicado na área de estudo: região Centro Sul de Portugal Continental. A região possuía todas as premissas necessárias à aplicação do modelo, desde o início ao final do fluxo, principalmente, dispunha de estações meteorológicas com dados disponibilizados via internet. No final foi possível identificar as áreas com potencial para gerar energia pelas fontes hídrica, eólica e solar.

### 5. RESULTADOS

O desenvolvimento do modelo e sua aplicação permitiu apresentar resultados em

três planos distintos: o modelo conceitual; a aplicação em *Modelbuilder* e a concretização na área de estudo na forma de mapas.

#### 5.1 Modelo Conceitual

Como resultado do modelo conceitual obteve-se um total de 36 classes, sendo 34 geográficas e 2 convencionais. Ver exemplos nas figuras 5 e 6, onde podem ser observados os relacionamentos entre as classes de objetos, bem como a cardinalidade “um para um” de forma subentendida, donde resultaram classes secundárias, também pelo uso de operações. O modelo conceitual apresenta-se, seccionado por grupos temáticos de energia por geração hídrica, eólica e solar nas figuras 7, 8 e 9, respectivamente.

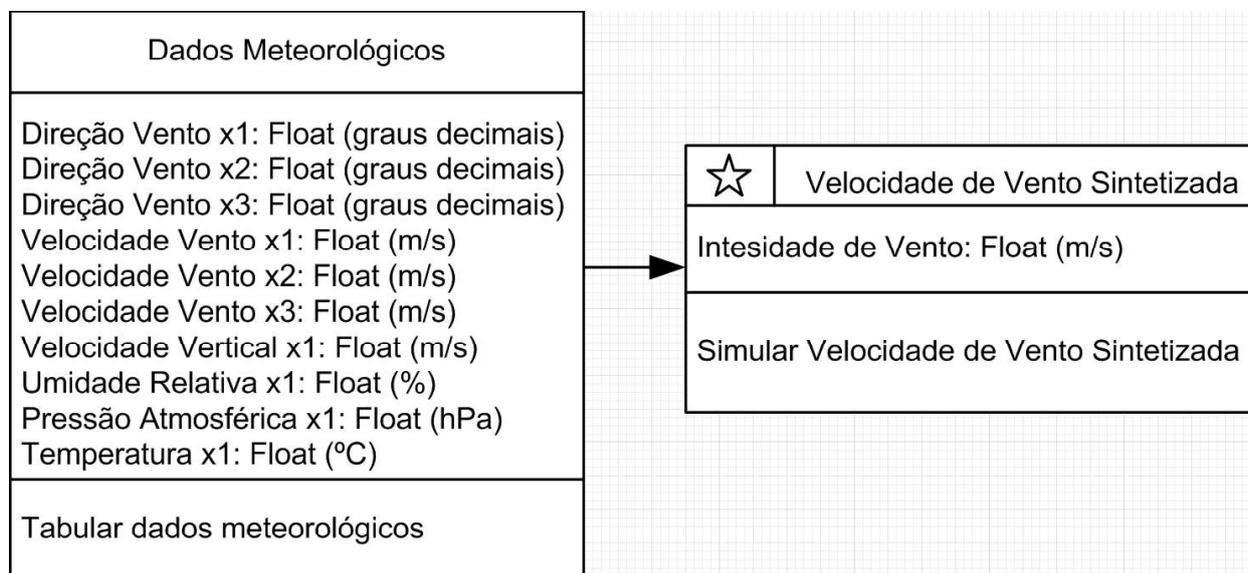


Fig. 5 – Classe Primária Convencional, Associação Simples.

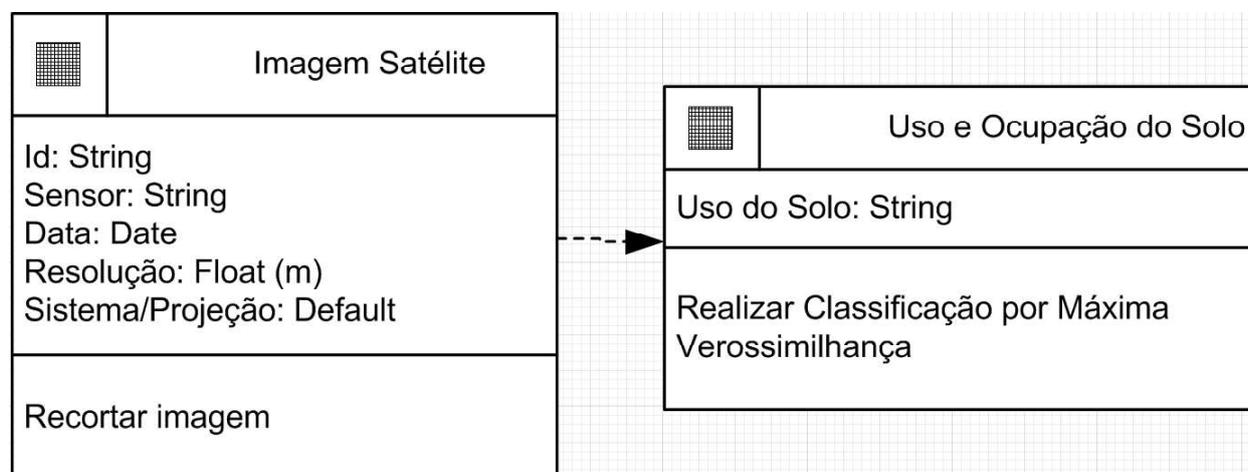


Fig. 6 – Classe Primária Geográfica, Associação Espacial.





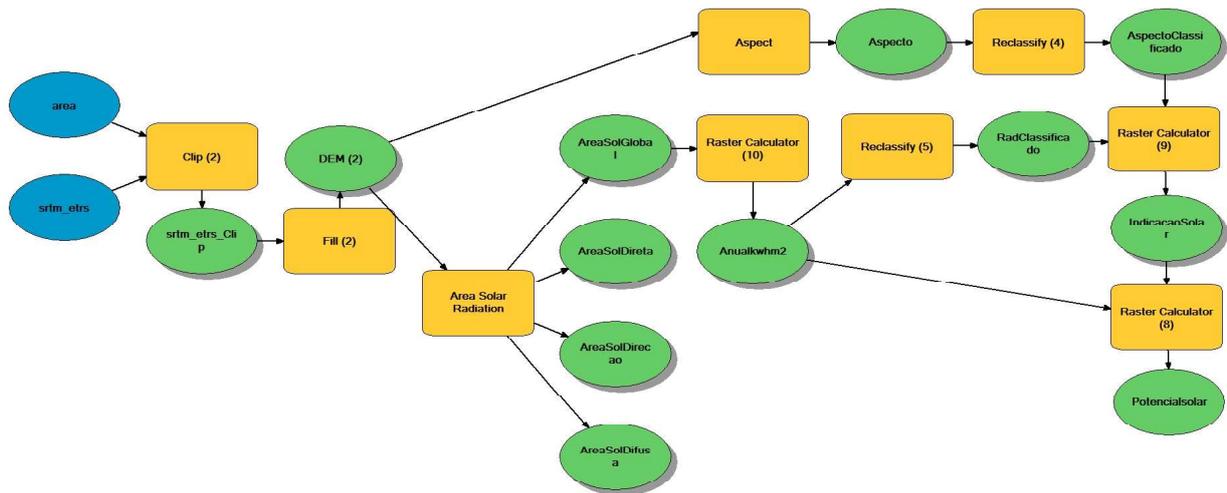


Fig. 12 - Modelbuilder da Geração Solar.

### 5.2 Aplicação em Modelbuilder

Nesta etapa foi realizada a implementação do modelo em *ModelBuilder*, onde foi produzido o fluxo para a identificação de áreas com potencial eólico, hídrico e solar. Ver figuras 10, 11 e 12.

### 5.3 Aplicação na Área de Estudo

Como resultados foram produzidos mapas que identificaram as áreas com potencial para gerar energia pelas fontes renováveis definidas: hídrica, eólica e solar.

Na Figura 13 pode ser observada a indicação espacial, através dos círculos azuis, de 17 locais com possíveis potenciais para instalação de empreendimentos para gerar energia através da fonte hídrica, especificamente, PCH com barramento de 150 m e altura de queda de 10 m, levando em consideração as restrições. Esse resultado é parcial devido à finalidade da aplicação, porque foram verificados na região 4780 locais com quedas de água entre 1 e 61 m, sem se levar em consideração as restrições, como barragens já existentes, por exemplo. Os 17 locais considerados apropriados se distribuíram nos seguintes distritos: 6 no Algarve, 6 em Beja, 2 na divisa entre os distritos de Beja e Faro (Algarve), 2 em Setúbal e 1 em Évora.

Em relação ao potencial eólico, é possível observar na Figura 14 os potenciais calculados, considerando a velocidade média de vento em uma altura simulada de 80 m. Ver a descrição dos resultados no Quadro 3. A mínima velocidade de vento identificada em toda a área de estudo foi de 2,095 m/s no Concelho de Santarém e a máxima foi de 5,821 m/s no Concelho de Beja,

próximo da divisa com a Espanha. As regiões destacadas em vermelho, nos Concelhos de Beja, Sagres e Portalegre correspondem, neste estudo, aos maiores potenciais eólicos verificados, com valores entre 5,266 e 5,821 m/s.

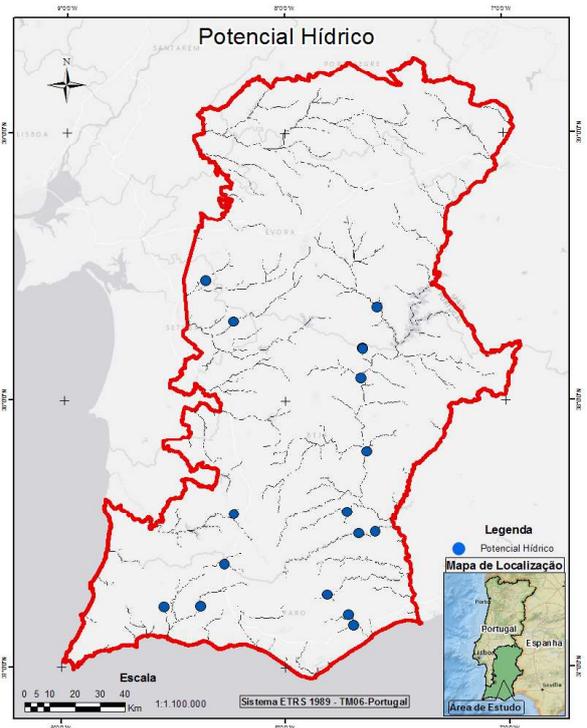


Fig. 13 - Potencial hídrico.

Quadro 3: Velocidade de Vento Simulada para 80 m

Velocidade de Vento (m/s)	Cor	Área (ha)	Área (%)
Entre 2,095 e 3,600	Cinza	1241915,82	47,60
Entre 3,601 e 4,155	Amarelo	419538,53	16,08
Entre 4,156 e 4,710	Laranja claro	530937,08	20,35
Entre 4,711 e 5,265	Laranja escuro	246596,79	9,45
Entre 5,266 e 5,821	Vermelho	170289,78	6,53

Ainda na Figura 14 pode ser verificado que as áreas identificadas em cinza possuem velocidade de vento inferior a 3,6 m/s ou algum tipo de restrição e não são propícias para a instalação de empreendimentos eólicos (aproximadamente 48% da área de acordo com o Quadro 3).

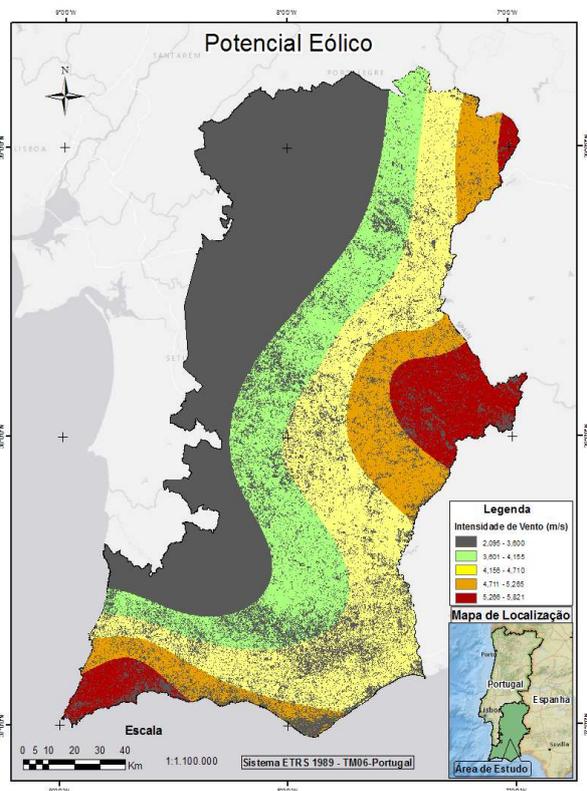


Fig. 14 – Potencial eólico.

Em relação à energia solar, primeiramente, é apresentado no Quadro 4, o quantitativo de faces de sol/aspecto geográfico da área de estudo calculado, para verificação, *a priori*, do potencial solar por aspecto.

Quadro 4: Pesos por aspecto da área de estudo faces de sol

Aspetto/Faces de Sol	Potencial	Área (ha)	Área (%)
Flat	Excelente	20863,73	0,80
Sul	Altíssimo	355047,37	13,61
Sudoeste	Alto	378703,07	14,51
Sudeste	Alto	299620,10	11,48
Oeste	Médio	327511,73	12,55
Leste	Médio	289176,23	11,08
Nordeste	Baixo	328351,72	12,58
Noroeste	Baixo	302452,06	11,59
Norte	Nulo	307551,99	11,79

De acordo com os resultados apresentados no Quadro 4, aproximadamente 88% da região investigada possui algum potencial solar *a priori* devido ao seu posicionamento em relação ao sol, com potencial solar por aspecto enquadrado entre baixo e excelente. A face voltada para norte corresponde a aproximadamente 12% da área e não possui potencial solar.

*A priori*, as faces de sol *flat* e orientadas a sudoeste, sudeste e sul, correspondem aos maiores potenciais atribuídos. Merece destaque a orientação a Sudoeste que corresponde a quase 15% do total da área, devido a localização geográfica de Portugal.

Com base nos potenciais atribuídos, aproximadamente 40% da área pesquisada possui potencial solar com potencial entre médio e excelente e 48% possui também potencial, porém, entre baixo e médio.

Da radiação calculada global calculada derivou-se o valor médio diário da radiação em kWh/m<sup>2</sup>. Foram obtidos valores diários globais médios absolutos de radiação para o ano de 2015 entre 2,788 e 4,152 kWh/m<sup>2</sup>. Ver Figura 15 e a descrição dos resultados no Quadro 5, onde pode ser verificado que a função utilizada para calcular a radiação global utiliza a área como um todo e não leva em consideração as faces de sol. De acordo com este resultado toda a área possui potencial solar, o que não corresponde à realidade.

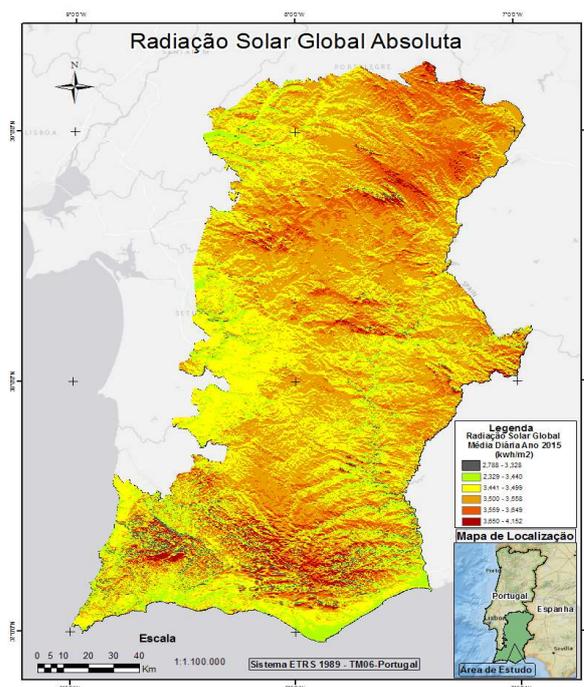


Fig. 15 - Radiação solar global absoluta – Média diária para o ano de 2015.

Quadro 5: Radiação solar global absoluta - média diária para o ano de 2015

Radiação (kwh/m <sup>2</sup> )	Cor no mapa	Área (ha)	Área (%)
Entre 2,788 e 3,328	Cinza	47323,38	1,81
Entre 3,329 e 3,440	Verde	308115,99	11,81
Entre 3,441 e 3,499	Amarelo	819333,32	31,40
Entre 3,500 e 3,558	Laranja Claro	969263,37	37,15
Entre 3,559 e 3,649	Laranja Escuro	388586,94	14,89
Entre 3,650 e 4,152	Vermelho	76655,00	2,94

Para melhor representação da realidade do potencial solar foram consideradas as faces de sol para serem analisadas em conjunto com os valores de radiação global absoluta calculada. O resultado do potencial solar global relativo, levando em consideração o aspecto, é apresentado na Figura 16 e no Quadro 6, onde pode ser verificado que as áreas identificadas em cinza não possuem potencial solar devido ao seu aspecto (face norte). Isso corresponde a aproximadamente 12% da área pesquisada.

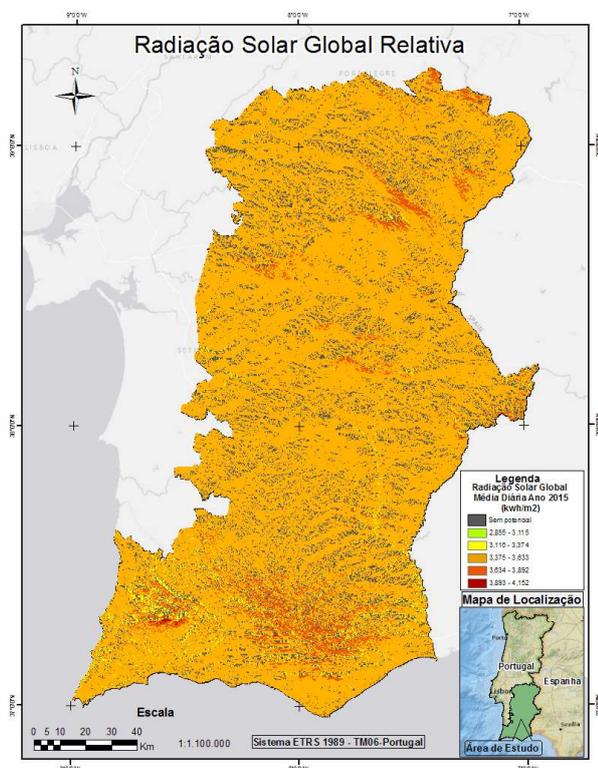


Figura 16 - Radiação solar global relativa – Média diária para o ano de 2015.

Quadro 6: Radiação solar global relativa - média diária para o ano de 2015

Radiação (kwh/m <sup>2</sup> )	Cor no mapa	Área (ha)	Área (%)
Sem potencial	Cinza	307551,99	11,79
Entre 2,855 e 3,115	Verde	1203,98	0,05
Entre 3,116 e 3,374	Amarelo	50335,34	1,93
Entre 3,375 e 3,633	Laranja Claro	2148652,00	82,35
Entre 3,634 e 3,892	Laranja Escuro	100394,69	3,85
Entre 3,893 e 4,152	Vermelho	1139,99	0,04

## 6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Conclui-se que todos os objetivos foram atingidos, pois: foram definidas as informações e produtos cartográficos e meteorológicos necessários ao desenvolvimento do modelo e da aplicação; foi produzido um modelo conceitual que estabeleceu um fluxo metodológico de forma a providenciar a identificação de áreas para gerar energia elétrica pelas fontes renováveis hídrica, eólica e solar, independente de *software* de implementação; foi implementado um modelo em *ModelBuilder* que resultou na identificação de possíveis áreas para gerar energia elétrica pelas citadas fontes, com independência de definição prévia de áreas; e o modelo em *Modelbuilder* foi aplicado em uma área de estudo para validação. Os consequentes mapas gerados apresentaram resultados satisfatórios, apontando os potenciais respectivos às matrizes pesquisadas sendo considerado baixo o potencial hídrico da região, médio o potencial eólico e alto o potencial solar.

Considera-se que: o modelo conceitual produzido é de aplicação universal e pode ser reaplicado em qualquer *software* de SIG; a aplicação em *Modelbuilder* depende de *software* e sistema e pode ser implementada em outros programas de SIG, desde que tenham funções e operações análogas; a aplicação do *Modelbuilder* em diferentes regiões geográficas, porém, depende de alguns fatores e, necessita que algumas premissas sejam contempladas, como a utilização de MDE, de imagens de

satélite ou mapas de uso e ocupação do solo de forma rasterizada e de dados e informações provenientes de estações meteorológicas.

Em relação ao potencial hídrico da região conclui-se que é pequeno, pois foram identificados somente 17 locais apropriados para instalação de PCH com 10 m de queda de água. Este resultado converge com os resultados publicados por Cerdeira (2010), de que o potencial hídrico do Sul de Portugal Continental é realmente muito pequeno, principalmente devido às poucas diferenças de altitude, necessárias para instalação de empreendimentos hídricos. O autor verificou potenciais de aproximadamente 5% nos distritos de Beja e Setúbal, 10% nos distritos de Algarve e Évora e de 15% no distrito de Portalegre.

Em relação ao potencial eólico da região conclui-se que é mediano, porque 47% da região não possui velocidade de vento suficiente para instalação de torres ou possui alguma restrição de natureza diversa (urbana, declividade, rugosidade, entre outros). A região de Sagres foi identificada como uma das regiões com alto potencial eólico e corresponde ao maior potencial eólico também verificado para Portugal Continental, convergindo com os resultados apresentados por Costa (2004), relativo à velocidade média anual simulada para 80 m para todas as direções de vento.

Em relação ao potencial solar da região conclui-se que é alto para instalação de equipamentos solares, sejam térmicos ou fotovoltaicos, pois mais de 88% da região possui algum potencial solar, devido, principalmente ao relevo e à situação geográfica de Portugal, bem como ao grande número de horas de sol por ano.

Recomenda-se em relação potencial hídrico, a realização de estudos específicos para verificar os potenciais pluviométricos e fluviométricos relacionados e melhorar o modelo produzido em *ModelBuilder* para considerar estes fatores no cálculo do fluxo acumulado, bem como realizar pesquisas mais aprofundadas para verificar se realmente a região possui baixo potencial hídrico ou se o mesmo está mascarado pelo grande número de barragens e reservatórios existentes que foram consideradas como restrições neste trabalho (Cita-se o caso do maior lago artificial da Europa – Alqueva situado na área de estudo, região de Monsaraz, divisa

com a Espanha).

Recomenda-se em relação ao potencial eólico, a realização de estudos aprofundados, principalmente, a utilização de um maior número de estações meteorológicas, bem como a utilização de séries históricas de dados para maior confiabilidade das interpolações de velocidade de vento, pois percebe-se que, mesmo com a utilização de um interpolador seguro como o *Topo to Raster*, alguns dados podem ter sido extrapolados, principalmente os altos valores de velocidade de vento percebidos em Portalegre e Beja.

Recomenda-se também, além do aumento do número de estações, a realização de estudos que levem em consideração o regime e a direção dos ventos.

Para as áreas com potencial solar, identificadas neste trabalho recomenda-se a realização de estudos mais aprofundados em relação ao tipo de equipamento a ser instalado (térmico para aquecimento de fluídos ou fotovoltaico para geração de energia elétrica), bem como a utilização de outros modelos com maiores resoluções, como os Modelos Digitais de Superfícies (MDS) advindos de levantamentos à laser ou de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), para validação e aprimoramento dos resultados.

Recomenda-se ainda que, para aplicações deste modelo geográfico em outras regiões do globo terrestre, as seguintes premissas sejam levadas em consideração *a priori*:

Geração hídrica: existência de MDE e respectivas diferenças de altitude, estudo das restrições que devem ser consideradas, informações sobre chuvas e vazões;

Geração eólica: existência de estações meteorológicas em maior número do que as apresentadas neste trabalho e que apresentem distribuição espacial homogênea, bem como atributos suficientes para simular a altura do aerogerador (de acordo com a descrição de atributos do item 4.2b);

Geração solar: existência de MDE e MDS, configuração de parâmetros para o hemisfério, latitude e aspecto do local, bem como verificação do número de horas de sol por ano, nebulosidade e chuvas.

Na época de elaboração deste trabalho de pesquisa, durante o ano de 2015, o governo

brasileiro ainda estava realizando investimentos em energias renováveis, fato que justifica a concessão da bolsa de estudos pelo CNPQ em energias renováveis.

Cabe ressaltar como conclusão que, infelizmente, todo o investimento ocorrido no Brasil nos últimos anos relativo às energias renováveis está fazendo parte de uma política de governo que se for aprovada, modifica a forma de investimentos até 2029. De acordo com Custódio (2017) a partir de 2030 será o “Fim dos incentivos às fontes alternativas de energia (eólica, solar, biomassa, etc.) de acordo com o novo marco regulatório publicado pelo Ministério das Minas e Energia”, bem como entram a partir de 2017 para a agenda de privatização todos os parques eólicos e usinas hidrelétricas desotimizadas de empresas estatais (usinas amortizadas que fornecem energia elétrica a baixo custo para o consumidor), principalmente as usinas do Grupo Eletrobras.

Como consequência, aponta Custódio (2017), “aumentarão o risco de déficit e o custo da energia elétrica para o consumidor final”. Considera ainda o autor que “a definição dos atributos técnicos e físicos para o lastro de energia representa um estímulo à geração termelétrica (em especial a partir do gás natural) e uma restrição à geração renovável”, o que vai de encontro com as políticas de redução dos GEE propostas no Protocolo de Kyoto.

Em contrapartida, de acordo com o Portal das Energias Renováveis (2017), Portugal deverá chegar aos 57% a 58% de eletricidade produzida a partir de renováveis em 2017. Embora esse número seja alto, Portugal não conseguirá cumprir as metas estabelecidas para 2020 pela União Europeia, que é de 31 % para a produção média dos últimos quinze anos. Isso porque Portugal possui uma forte oscilação com períodos entre chuva e seca e, em 2015 foi um ano seco e em 2016, por exemplo, a energia por fontes hídricas ultrapassou o consumo de carvão e elevou a produção renovável para 64%. No total para o período Portugal deve atingir entre 27% e 28% de produção renovável.

De acordo com Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN), (2017), em fevereiro de 2017, devido às condições atmosféricas favoráveis, a produção hídrica teve a maior contribuição para a produção de

eletricidade (42%), seguida da eólica (27%). Do total de produção de eletricidade em Portugal, a energia renovável contribuiu com 74% da produção total, seguindo-se a produção térmica fóssil, carvão e gás, com 26%. Também vale destacar que a produção de energia renovável cobriu 95% do consumo de energia elétrica em Portugal no mês de fevereiro de 2017. Este valor mensal (4.350 GHw) foi o segundo maior do século. O recorde foi atingido em Fevereiro de 2014, quando as renováveis cobriram 97% do consumo de eletricidade em Portugal continental.

## AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) do Brasil, órgão de fomento brasileiro financiador da bolsa de pesquisa de pós-doutoramento ocorrida entre os meses de Março a Novembro de 2015, realizada em Portugal na Universidade Nova de Lisboa.

Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas - Universidade Nova de Lisboa (CICS – NOVA - FCSH/UNL), UID/SOC/04647/2013, com o apoio financeiro da FCT/MEC através de fundos Nacionais e quando aplicável co-financiado pelo FEDER no Âmbito do acordo de parceria PT2020.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª edição. Brasília: ANEEL. 2008. 236 p.

AMARANTE, O. A. C.; SILVA, F. J. L.; ANDRADE, P. E. P. **Atlas Eólico: Espírito Santo**. Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo (ASPE). Vitória. 2009. 100 p.

AWS TRUEPOWER LLC. 2015. Disponível em <<https://www.windographer.com>>. Acesso em outubro de 2015.

BORGES, K. A.V. **Modelagem de banco de dados geográficos**. Apostila do Curso de Especialização em Geoprocessamento. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2002. 58 p.

BORGES, K. A.V. **Modelagem de dados**

- geográficos: uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas.** 1997. Dissertação (Mestrado em Administração Pública). Escola de Governo, Fundação João Pinheiro. Belo Horizonte. 1997. 139 f.
- CELESTINO, V. S. **Considerações sobre a qualidade altimétrica para projetos de usinas hidrelétricas.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2014. 348 f.
- CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA (CEPEL). **Atlas do Potencial Elétrico Brasileiro.** CEPEL/ELETOBRAS/Ministério de Minas e Energia. 2001. 45 p.
- CERDEIRA, S. J. C. B. **Avaliação Regional do Potencial Mini-Hídrico Através de Sistemas de Informação Geográfica.** Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Energia). Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto. 2010. 84 f.
- COLLE, S.; PEREIRA, E. B.; **Atlas de Irradiação Solar do Brasil – 1ª versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície.** Instituto Nacional de Meteorologia - INPE. Brasília. 1998. 65 p.
- COSME, A. **Projeto em Sistemas de Informação Geográfica.** Lidel – edições técnicas, lda. Lisboa. 2012. 366 p.
- CRAVEIRO, G. K. C. **Metodologia para implementação de um Sistema de Informações Geográficas para ambiente urbano.** Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transporte) - Curso de Pós Graduação de Engenharia, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2004. 194 f.
- CUSTÓDIO, R. S. **Energia eólica para produção de energia elétrica.** 2ª ed. Synergia Editora: Rio de Janeiro. 2013. 319 p.
- CUSTÓDIO, R. S. **Alteração do Modelo do Setor Elétrico Brasileiro.** In: **Seminário Técnico: Consulta Pública nº 33/2017 do Ministério de Minas e Energia.** Org.: Intesul: Florianópolis. 2017. Disponível em <https://youtu.be/FjrjkeVGpoM>.
- ELOY, A. **Energias Sem-fim – Contrariando as Alterações Climáticas.** Edições Colibri. Lisboa. 2009. 124 p.
- FARINA, F. C. **Sistema de Informação Geográfica (SIG) estratégico do potencial energético renovável da Planície Costeira Norte do RS.** Tese (Doutorado em Geociências) – Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009. 150 f.
- HADZILAKOS, T. HALARIS, G.; KAVOURAS, M.; KOKLA, M.; PANOPOULOS, G.; PARASHAKIS, J.; TIMOS, S.; TSOULOS, L.; MICHALIS, Z. Interoperability and definition, of a national standard for geospatial data: the case of the Hellenic Cadastre. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation.** [S.l.], v. 2, n. 2. 2000. p. 120-128.
- HÜBNER, C. E. **Proposta de gestão de dados cadastrais para gestão sociopatrimonial de empreendimentos de geração de energia hidrelétrica em fase de implantação.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009. 339 f.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Wind Technology Roadmap.** International Energy Agency. 2009. Disponível em [www.eia.org/Papers/2009/wind\\_roadmap.pdf](http://www.eia.org/Papers/2009/wind_roadmap.pdf). Acesso em junho de 2015.
- JERVEL, J. T. **Estudo da influência das características do vento no desempenho de aerogeradores.** Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2008. 87 f.
- LAGO, D. Modelagem de banco de dados geográfico para subsídio a gestão integrada de recursos hídricos. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia,** [S.l.], v.1, 2006. p. 79-90.
- LIMA JÚNIOR, P. O. **GEOBR: intercâmbio sintático e semântico de dados espaciais.** Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - INPE, São José dos Campos. 2002. 100 f.
- LINARD, F. J. A. **Estimativas da velocidade do vento em altitude usando o Software Windographer.** Monografia. (Monografia de

- Graduação em Bacharelado em Física) Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza. 2010. 42 f.
- LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C.; HASENACK, H.; WEBER, E. J. **Modelagem conceitual de banco de dados geográficos: o estudo de caso do projeto PADCT/CIAMB**. In: Carvão e Meio Ambiente. UFRGS. Porto Alegre. 2000. p. 440 - 458.
- MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**. UFPE: Recife. 2011. p. 973 – 804.
- MEDEIROS, C. B.; ALENCAR, A. C. de. Qualidade dos dados e Interoperabilidade em SIG. In: **GEOINFO**, I, Campinas. Anais... Campinas: [s.n.]. 1999.
- MENDES, P. G. **Desenvolvimento de uma aplicação SIG no apoio à gestão da rega: o caso de estudo do Alentejo (Portugal)**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica) Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa. Lisboa. 2013. 147 f.
- NOGUEIRA, J. D. L.; AMARAL, R. F. A. Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo toRaster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN. In **Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto**. Anais... INPE: Natal. 2009. p. 4117 – 4123.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ONU/DI) - **Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e o Caribe – Energia e Mudança Climática**. Programa de Capacitação em Energias Renováveis. 2013. 75 p.
- PEREIRA, M. A.; LISBOA FILHO, J. Projeto de bancos de dados geográficos usando a ferramenta CASEGEO. In: **Workshop Sobre Geoprocessamento**, 1, 2002, Viçosa. Anais... Viçosa: NUGEO. Não paginado. Disponível em: <<http://www.dpi.ufv.br/~jugurta/publica.html>>. [Consulta em: 05 de junho de 2015].
- PEREIRA, M. V. R. **Impacto da altura de aerogeradores sobre a velocidade do vento, energia, efeito de esteira e intensidade de turbulência: Estudos de caso em três projetos eólicos localizados no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2016. 150 f.
- PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS. HOMEPAGE. Disponível em: [http://energiasrenovaveis.com/AreaGeral.asp?ID\\_area=14&tipo\\_area=0](http://energiasrenovaveis.com/AreaGeral.asp?ID_area=14&tipo_area=0). Acesso em agosto de 2017.
- SILVA, V. C. B. **Criando um Model Builder no ArcGIS**. Guest Post. Belo Horizonte. 2015. 3 f.
- TIBA, C. **Atlas Solarimétrico do Brasil – banco de dados terrestre**. Editora Universitária UFPE. Recife. 2000. 111 p.