

MODELAGEM GEOGRÁFICA E ENERGIAS RENOVÁVEIS: APLICAÇÕES PARA APOIO À DECISÃO

VIVIAN DA SILVA CELESTINO¹
RUI PEDRO JULIÃO²

¹ Eletrobras Eletrosul Centrais Elétricas
vivian.celestino@eletrosul.gov.br

² Departamento de Geografia e Planeamento Regional
Faculdade de Ciências Sociais e Humanas - FCSH/NOVA
rpj@fch.unl.pt

RESUMO - A redução da emissão de Gases com Efeito de Estufa, designadamente CO₂, é um compromisso global que tem vindo a ganhar preponderância e as fontes eólica, hídrica e solar, são cada vez mais uma alternativa à produção de energia a partir de combustíveis fósseis, mas a sua exploração também não está isenta de conflitos. A modelagem geográfica surge como ferramenta essencial para melhor determinar quais as áreas com maior potencial para viabilizar economicamente a exploração destas fontes alternativas, sem comprometer o meio. Neste trabalho foram concebidos e desenvolvidos modelos conceituais de análise espacial, segundo o padrão *Object Modelling Technique* (OMT-G) e modelos operacionais em *ModelBuilder*, bem como foi realizada aplicação na região centro de Portugal Continental.

Palavras chave: Energias renováveis, Sistema de Informação Geográfica (SIG), Modelagem Geográfica.

ABSTRACT - Reducing the emission of gases with greenhouse effect, in particular CO₂, is a global commitment that has gained prevalence and wind, hydro and solar, are increasingly an alternative to energy production from fossil fuels, but its operation is also not free from conflict. Geographic modeling emerges as an essential tool to better determine which areas have the greatest potential for economically viable exploitation of these alternative sources without compromising the environment. In this paper conceptual models for spatial analysis were designed and developed, according to the standard OMT-G, and operational models in *ModelBuilder*, as well as an application in the center region of Portugal.

Key words: Renewable energies, Geographic Information Systems (GIS), Geographic Modeling.

1 INTRODUÇÃO

A procura de fontes renováveis de energia tem sido incrementada com o objetivo de responder à crescente procura de energia elétrica mundial produzida de forma sustentável, pois a combustão de energias fósseis (petróleo, gás e carvão) é responsável por dois terços das emissões mundiais dos Gases com Efeito Estufa (GEE), seguida do desmatamento por 17% e da agricultura por 15,5%, o que pode ocasionar mudanças repentinas e irreversíveis no clima do planeta. O aumento do nível do mar e extensas perdas significativas de biodiversidade são apenas dois exemplos da vasta variedade de possíveis impactos. Sem contar que a expectativa é de que, até o final do século XXI, as temperaturas aumentem em média 2º Celsius se não forem tomadas medidas emergenciais para reduzir a emissão dos GEE (ADAPTADO DE ELOY

(2009) e ONUDI (2013).

No Protocolo de Quioto 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. A eficiência energética, o desenvolvimento de energias suaves (solar e eólica, dos oceanos ou geotérmica) e a valorização dos resíduos são elementos de uma estratégia de reduzir este problema para além de desenvolver novas áreas de investimento (ELOY, 2009).

Mas para que seja tomada uma decisão assertiva, em relação à definição destas áreas, é necessário realizar a compilação de variáveis que sejam também pertinentes

aos temas econômico, social e financeiro, vinculados a dados e informações da Terra distribuídas de forma espacial e sistêmica. 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 planeamento e de gestão (MENDES, 2013).

Neste contexto o objetivo principal deste trabalho é apresentar um método desenvolvido 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 OMT-G e um modelo lógico/físico em *ModelBuilder* para identificar as áreas; aplicar os modelos produzidos para validação.

2. ENERGIAS RENOVÁVEIS

São consideradas energias renováveis ou suaves todas aquelas que utilizam as forças da natureza para gerar energia sem agredir o meio ambiente (ELOY, 2009).

A energia hídrica pode ser considerada renovável. As principais variáveis utilizadas na sua classificação são: altura da queda de água, vazão, capacidade ou potência instalada, tipo de turbina empregada, localização, tipo de barragem e reservatório (ANEEL, 2008). Em Portugal, em um ano hidrológico médio, a energia hídrica representa cerca de 25% do total da eletricidade consumida no país (ELOY, 2009). No Brasil para ser considerada uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH), a potência instalada deve estar entre 1 e 30 Mega Watt (MW), a altura de queda d'água não pode ultrapassar 10 m de altura e a área alagada pelo reservatório não pode ser superior a 1,3 km² (ANEEL, 2008).

A energia eólica é considerada renovável, amplamente disponível e com baixo impacto ambiental. Os países que mais fazem uso dessa energia são a Alemanha, Estados Unidos, Espanha, Índia, China, Dinamarca, Itália, França, Reino Unido e Portugal (AMARANTE, 2009), sendo que, em Portugal em 2013 a potência instalada em aproveitamentos eólicos ascendia a 4730 MW. Com a tecnologia atual, a instalação de uma turbina tem interesse caso o local esteja sujeito apenas a ventos com velocidade média anual superior a 3,6 m/s, persistentes e regulares e com baixas intensidades de turbulência (ELOY, 2009).

Em relação a energia solar, quando a captação se utiliza de uma superfície escura, a energia será transformada em calor (solar térmico). Se utilizadas células fotovoltaicas, o resultado será a eletricidade (fotovoltaico) (ANEEL, 2008). A energia solar apresenta-

se cada vez mais como uma grande solução energética para o planeta, é uma fonte inesgotável, gratuita e não poluente. Dispondo de 2300 a 3000 horas de sol por ano, Portugal está em situação privilegiada para a utilização da energia solar (ELOY, 2009).

3. MODELAGEM GEOGRÁFICA

A modelagem geográfica tem vindo a ganhar 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.

Neste contexto a modelagem conceitual de dados geográficos é uma representação e organização simplificada de elementos da realidade geográfica, envolvendo a descrição de conteúdo, estrutura e operação, com a finalidade de suportar a criação de aplicações. Segundo Lisboa Filho et al (2000) entre os modelos mais conhecidos estão os do formalismo orientado à objetos (OO), tais como: GeoOOA, MADS, OMT-G e UML-GeoFrame.

O OMT-G é uma técnica de modelação 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 (BORGES et al, 2005).

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. As classes convencionais possuem atributos e algum tipo de relação com um objeto espacial, mas não têm propriedades geométricas.

As classes georreferenciadas possuem subclasses do tipo Geo Campo (justaposição espacial que preenche por completo o espaço) e Geo Objeto (composta por entidades geométricas, polígonos, pontos ou linhas). 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. Ver exemplos na Figura 1.

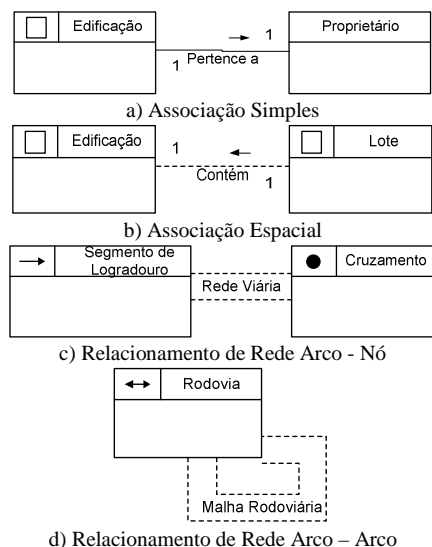


Figura 1 – Representação das associações do OMT-G.

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*. 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 (físico) necessários para se chegar aos dados, o que o torna dependente tanto de *software* como de *hardware*.

O *ModelBuilder* é uma ferramenta de apoio essencial na operacionalização dos modelos conceituais, pois agrega as etapas de modelagem lógica e física em somente uma etapa. Trata-se de um instrumento que, muito mais do que permitir o desenho, testa o procedimento, validando-o, e efetua a sua operacionalização (COSME, 2012), podendo ser considerado uma ferramenta de programação gráfica que reúne funções de geoprocessamento e a elaboração de modelos que podem ser utilizados em múltiplas ocasiões.

4. MÉTODO

Para desenvolver o método proposto, primeiramente foram definidas as variáveis e as informações necessárias para identificar as áreas com potencial para gerar energia pelas fontes renováveis definidas. Para a energia hídrica de pequeno formato ficou definida a utilização de uma altura de queda de 10 m e um barramento de 150 m, para a energia eólica ficou definida uma velocidade acima de 3,6 m/s como parâmetro e, para a energia solar, ficou definida a utilização das faces sul, sudeste, sudoeste, leste e oeste (considerando a localização geográfica de Portugal) como parâmetros para captação nas formas térmica e fotovoltaica. Foi definida a utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDE) advindos do Space Shuttle

Topography Mission (SRTM) (NASA SRTM, 2013), que de acordo com Chien (2000) e Rabus et al (2003), possuem resolução espacial de 90 metros, acurácia vertical e horizontal absoluta de 16 e 20 m, respectivamente, com 90% de confiança. Dos MDE foram derivadas as informações de altitude/altura, inclinação/declividade e aspecto da superfície.

Para permitir a definição de restrições levadas em consideração no mapeamento de potencial energético, como por exemplo, zona urbana para hídrica ou eólica, dados relativos ao uso e ocupação do solo foram obtidos por classificações supervisionada de imagens de satélite advindas do LandSat 8 (disponíveis no site da United States Geological Survey (USGS), cujas imagens do espectro do visível possuem resolução espacial de 30 m). Foram também utilizados dados provenientes de 10 estações meteorológicas do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) de Portugal com dados disponíveis relativos à direção e velocidade de vento (captação em três alturas diferentes), velocidade vertical de vento, umidade relativa, pressão atmosférica e temperatura.

Para o desenvolvimento do modelo conceitual foram utilizados os parâmetros e estereótipos do modelo OMT-G. Para desenhá-lo foi utilizado o Stencil OMT-G no Microsoft Visio 2010. O modelo foi subdividido em componentes, organizadas por fonte de energia: solar, eólica e hídrica. Para implementar o modelo lógico/físico foi utilizado o *ModelBuilder* do *software* ArcGIS, também por fonte de energia.

O modelo lógico/físico criado foi aplicado, para efeitos de teste, na região centro de Portugal Continental, e obteve-se a identificação de área com potencial para gerar energia pelas fontes solar, hídrica e eólica.

5. RESULTADOS

O desenvolvimento do modelo e sua aplicação permitiu a apresentação em três planos distintos: o modelo conceitual, o modelo lógico/físico e a aplicação na área de teste.

Como primeiro resultado obteve-se um modelo conceitual com 36 classes, sendo 34 geográficas e 2 convencionais, com a atribuição dos seguintes domínios: *String*, *Boolean*, *Float* e *Date*. O modelo conceitual seccionado por grupos temáticos de energia (solar, eólica e hídrica) está sendo apresentado no apêndice I.

Na segunda etapa, implementação lógica/física, foram utilizadas as seguintes operações do Toolbox do ArcGIS para produzir o *Modelbuilder*: *Topo to Raster*, *Clip*, *Fill*, *Flow Direction*, *Flow Accumulation*, *Conditional*, *Raster Calculator*, *Focal Statistics*, *Reclassify*, *Slope*, *Aspect*, *Buffer*, *Raster to point*, *Polygon to raster* e *Area solar radiation*. No apêndice II está sendo apresentado o modelo lógico/físico também seccionado para as três fontes de energia, sendo que o da hídrica está sendo dividido em duas figuras distintas para permitir uma melhor leitura.

Como resultado final foi realizada uma aplicação

ao território Centro-Sul de Portugal Continental que continha todas as premissas necessárias. Para tanto foram gerados dois mapas que identificam as áreas com potencial para gerar energia pelas fontes renováveis definidas: hídrica, com altura de queda de 10 metros e barramento de 150 metros (ver Figura 2); eólica (ver Figura 2); e solar (ver Figura 3).

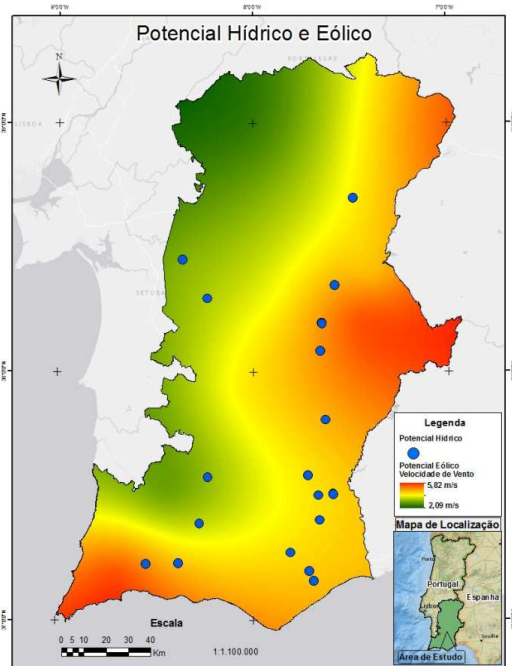


Figura 2 – Potencial Hídrico e Eólico.

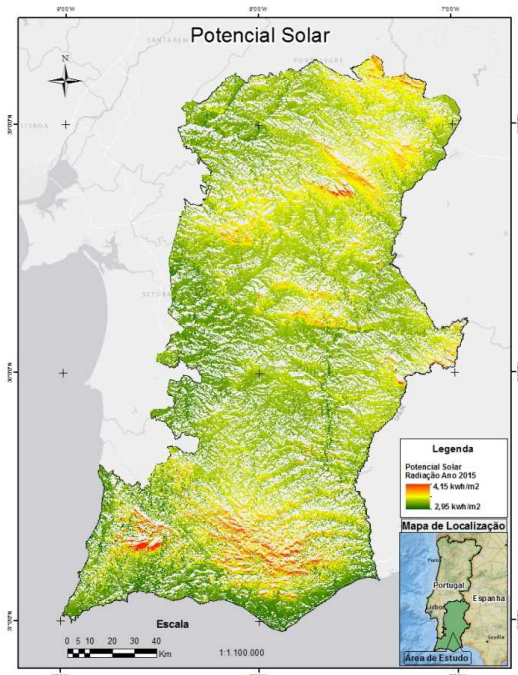


Figura 3 – Potencial Solar.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Conclui-se que todos os objetivos foram atingidos, pois: foram definidas as informações e produtos cartográficos e/ou meteorológicos necessários ao desenvolvimento do modelo; 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 lógico/físico 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 lógico/físico foi aplicado em uma área de estudo para validação e os consequentes mapas gerados apresentaram resultados satisfatórios.

Considera-se que: o modelo conceitual produzido é de aplicação universal e pode ser reaplicado em qualquer *software* de SIG; o modelo lógico/físico depende de *software* e sistema e pode ser implementado em outros programas de SIG, desde que tenham funções/operações análogas; a aplicação do modelo lógico/físico 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/informações provenientes de Estações Meteorológicas.

AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) do Brasil, pelo financiamento da bolsa de pós doutoramento.

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

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

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. 100p.

BORGES, K. A. V.; DAVIS JÚNIOR, C. A.; LAENDER, A. H. F. (2005):“Modelagem conceitual de dados geográficos”. in Casanova, M. A.; Câmara, G.; Davis Junior, C. A.; Vinhas, L.; Queiroz, G. R. (Org). **Banco de Dados Geográfico**. MundoGEO: Curitiba. 83 - 136.

BORGES, K. A.V. **Modelagem de dados geográficos: uma extensão do modelo OMT para aplicações**

geográficas. 1997. 139f. Dissertação (Mestrado em Administração Pública). Escola de Governo, Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte.

CHIEN, P. **Endeavour maps the world in three dimensions**. Geoworld, n. 37, 2000. p. 32 – 38.

COSME, A. **Projeto em Sistemas de Informação Geográfica**. Lidel – Edições Técnicas, Lda. Lisboa, 2012. 366p.

CRAVEIRO, G. K. C. **Metodologia para implementação de um Sistema de Informações Geográficas para ambiente urbano**. 2004. 194f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transporte) - Curso de Pós Graduação de Engenharia, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ELOY, A. **Energias Sem-fim – Contrariando as Alterações Climáticas**. Edições Colibri. Lisboa, 2009. 124p.

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.

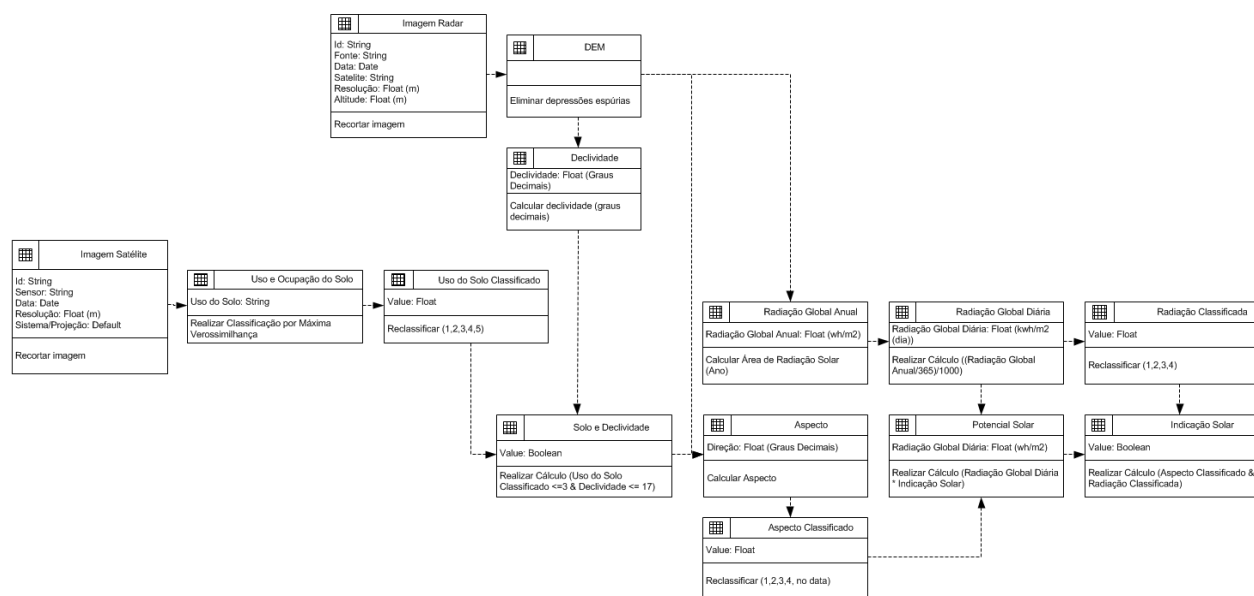
MENDES, P. G. **Desenvolvimento de uma aplicação SIG no apoio à gestão da rega: o caso de estudo do Alentejo (Portugal)**. 2013. 147f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica) Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa, Lisboa.

NASA SRTM. SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION. Pasadena: Jet Propulsion Laboratory – JPL. Disponível em <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.htm>>. Acesso: Dezembro 2013.

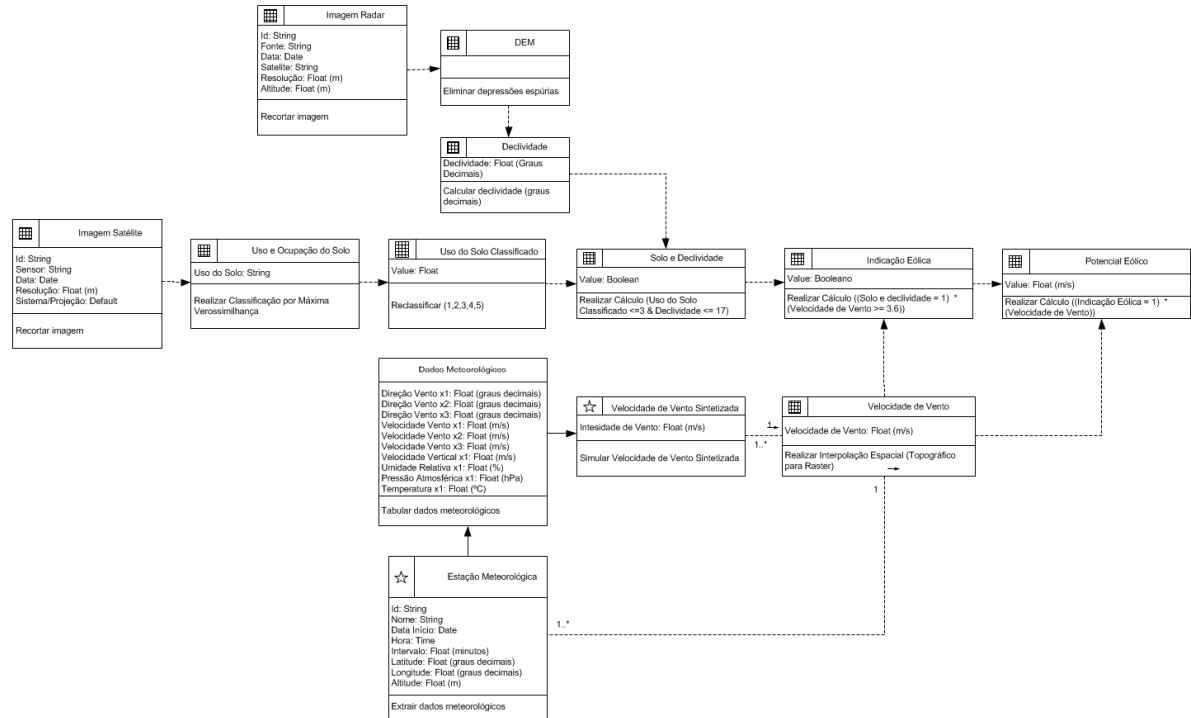
ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ONU) - OBSERVATÓRIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE – **Energia e Mudança Climática**. Programa de Capacitação em Energias Renováveis. 2013. 75p.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. THE SHUTTLE Radar Topography Mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **Journal Of Photogrammetry & Remote Sensing**. ISPRS, V. 57, 2003. p. 241 – 262.

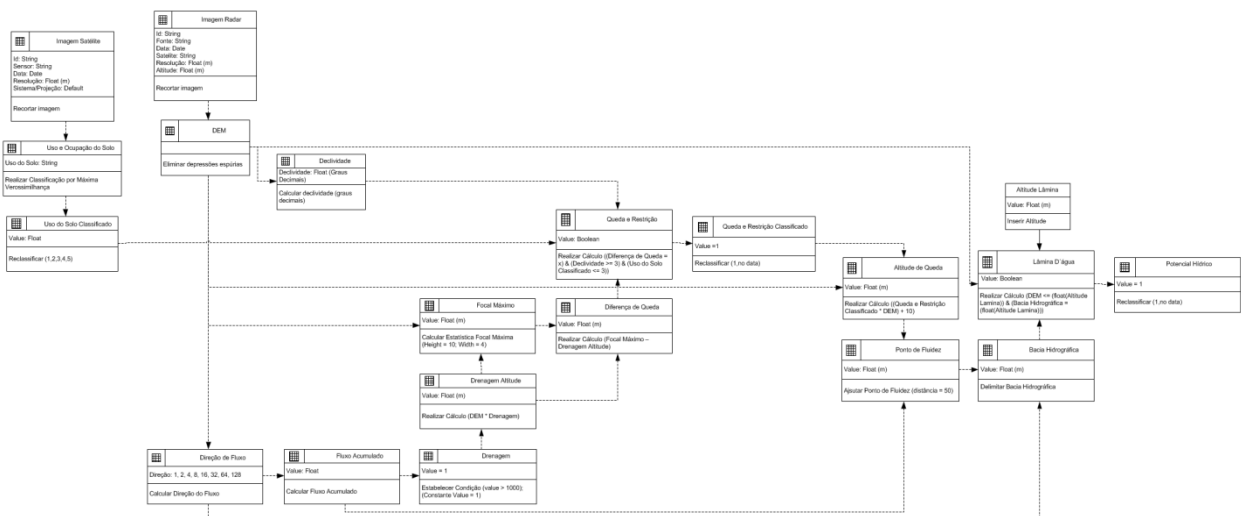
APÊNDICE I



Modelo Conceitual Geração Solar

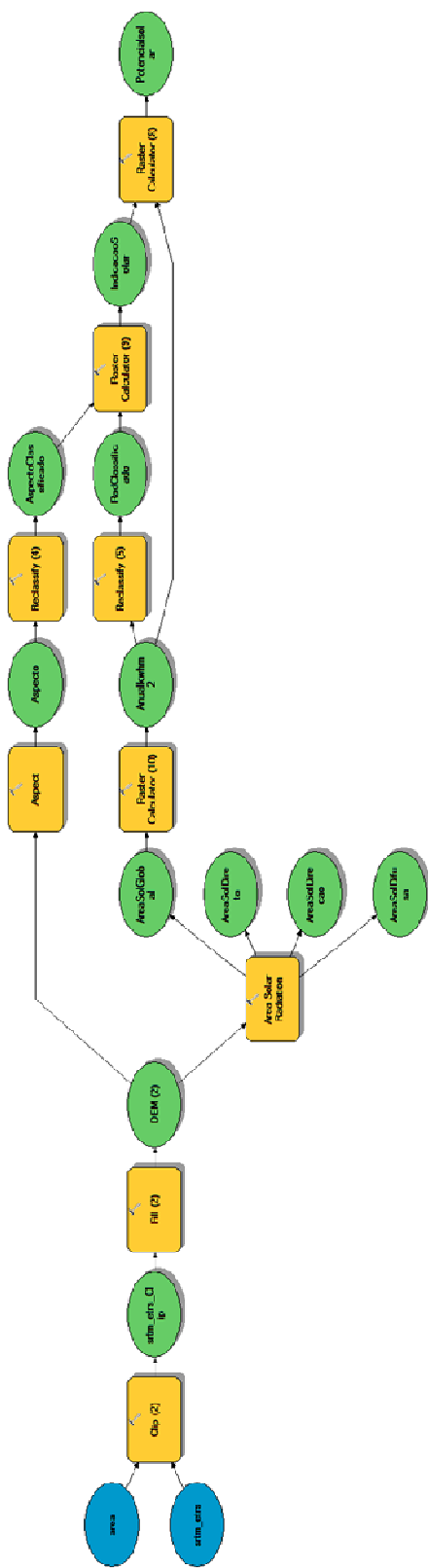


Modelo Conceitual Geração Eólica

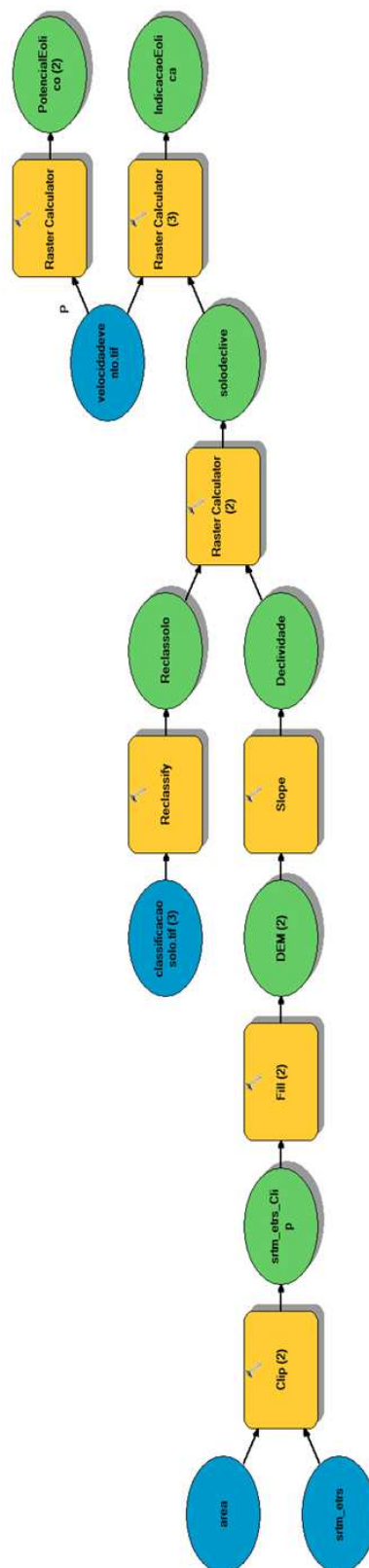


Modelo Conceitual Geração Hídrica

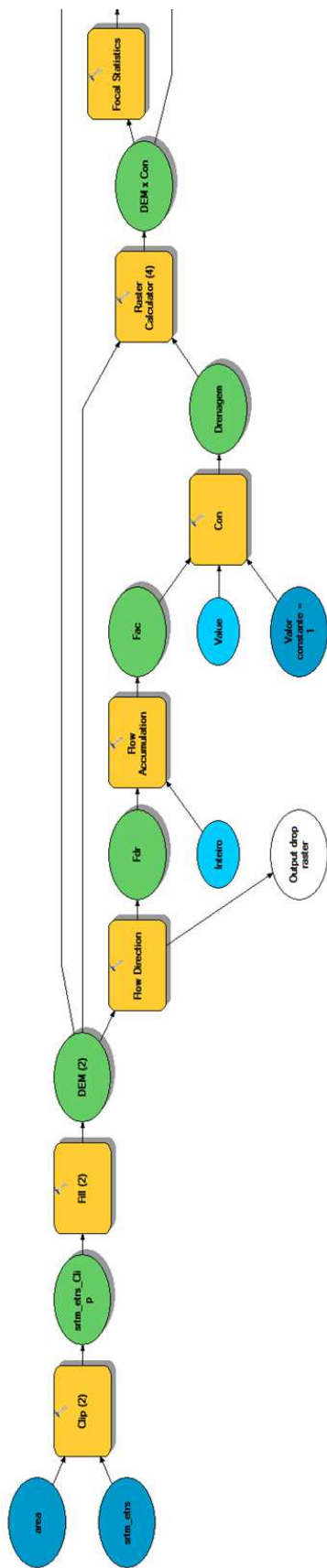
APÊNDICE II



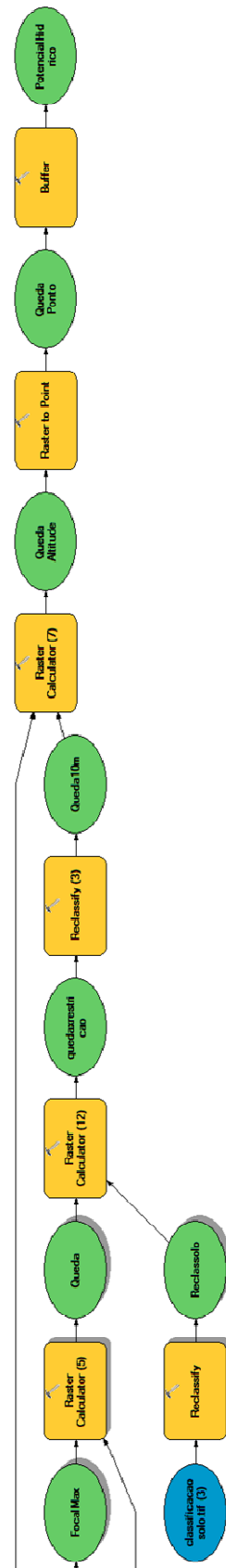
ModelBuilder Geração Solar



ModelBuilder Geração Eólica



Cont...



Cont...

ModelBuilder Geração Hídrica