

# ALOCAÇÃO DE FONTES RENOVÁVEIS EM PROPRIEDADES RURAIS ATRAVÉS SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

**Marnoon Poltozi Vargas** – marnoonpv@gmail.com

**José Wagner M. Kaehler** – josekaehler@unipampa.edu.br

**Lucas Eduardo Dorneles Antunes** – lucas.doernelesanutes@gmail.com

Fundação Universidade Federal do Pampa, Departamento de Engenharia Elétrica

**Mauricio Sperandio** – mauricio.sperandio@ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Elétrica

**Resumo.** A geração distribuída (GD) pode ser citada como uma das ações de Planejamento pelo Lado da Demanda (PLD) que retratam ótimos resultados, pois além de tornar o usuário produtor de energia, motiva este a utilizar a energia de forma consciente. Para tanto, faz-se necessário contar com a indicação dos locais mais adequados para a exploração de recursos renováveis. Por este motivo o objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia utilizando Sistema de Informação Geográfica que permita identificar os melhores locais para o aproveitamento dos recursos energéticos eólico e solar fotovoltaico, levando em conta as necessidades de produtores rurais de lavouras de arroz e soja predominantes na região rural do oeste do estado do Rio Grande do Sul. Inicialmente é apresentado a metodologia e após é passado a avaliação dos recursos energéticos. A identificação dos pontos mais adequados para cada recurso e uma análise da paridade entre o custo das tecnologias e a tarifa rural é um dos principais resultados apresentados.

**Palavras-chave:** Geração distribuída, Recursos renováveis, Sistema de informação geográfica.

## 1. INTRODUÇÃO

A GD pode ser citada como uma das ações de planejamento pelo lado da demanda que retratam ótimos resultados, pois além de tornar o usuário produtor de energia, motiva este a utilizar a energia de forma consciente. No Brasil a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), regulamentou a conexão *on-grid* para geração de eletricidade menor ou igual a 1MW a partir de 2012, através da Resolução Normativa (RN) 482 através do Sistema de Compensação. Embora tenha sido melhor recebida pela classe residencial (Mattar, 2015), o setor rural também tem perfeitas condições de aproveitar os recursos naturais existentes no campo e o amplo espaço disponível.

Um Sistema de Informação Geográfico (SIG) torna este tipo de avaliação algo viável, cobrindo grandes áreas terrestres para diversos tipos de fontes. Mellino *et al.* (2014) afirma que o planejamento do espaço terrestre pode ser utilizado para coordenar os processos econômico, social e ambiental devido ao fato de estes processos serem inerentemente espaciais. Por este motivo o SIG é amplamente utilizado no planejamento da expansão de redes elétricas, no Gerenciamento pelo Lado da Oferta (GLO) (Miloca *et al.*, 2015), e incorporando informações em redes elétricas inteligentes (Thakur e Chakraborty, 2015).

Na exploração de recursos renováveis um SIG é de importância fundamental para avaliar e alocar possíveis instalações de usinas solar fotovoltaicas (SF) (Weng, 2014; Jamal *et al.*, 2014) ou mesmo eólicas (Latinopoulos e Kechagia, 2015). Isto é executado com o cruzamento de dados do aspecto técnico, econômico, ambiental e social, de forma a restringir locais impróprios ou que causem algum tipo de dano ao meio ambiente, e sobressaltar locais que possuam qualidades adequadas a tecnologia.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia utilizando SIG que permita identificar os melhores locais para o aproveitamento dos recursos energéticos, levando em conta as necessidades de produtores rurais de lavouras de arroz e soja predominantes na Região Rural da Capital Regional de Santa Maria, Rio Grande do Sul, região está definida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Este trabalho se justifica em decorrência da região ter excelentes condições para aproveitamento solar e eólico, facilitando identificar de forma integrada os locais de melhor aptidão para instalações de fontes renováveis. Busca-se assim demonstrar com este trabalho as oportunidades que decorrem tanto do ponto de vista técnico como econômico da capitalização destes recursos energéticos, que viriam a complementar a renda da propriedade rural dentro de uma premissa de respeito ao meio ambiente.

## 2. METODOLOGIA

No meio rural oeste gaúcho a elevação do preço da energia tem conduzido investidores a busca por novas soluções. Por mais que existam tarifas menores e descontos próprios para a classe rural de consumo, os aumentos sucessivos afetam diretamente o custo de produção dos alimentos, obrigando estes produtores a pensar em formas de reduzir o custo com a eletricidade, seja pelo menor consumo, eficiência dos processos, ou através da produção de outros bens.

Investimentos em GD oportunizam aos produtores a consolidação do mercado agrícola e de pecuária que necessitam de terras férteis, com o de energia elétrica em áreas menos produtivas. Para isso ser viável, se faz necessário conhecer geograficamente a ocupação do solo e seus usos mais apropriados. Em propriedades que cultivam grãos as áreas de maior interesse são mapeadas por profissionais das ciências agrárias com a finalidade de controlar insumos e rotacionar culturas entre outras finalidades agrícolas.

Neste trabalho foi adotado os pressupostos utilizados por Lopez et. al. (2012) para identificar e avaliar os recursos renováveis disponíveis no terreno. Baseada em SIG, esta abordagem Top-Down se inicia pela mensuração do potencial teórico, passando pela avaliação tecnológica, até a compensação econômica, explicitando as restrições do terreno de forma lógica, para cada potencial de recurso energético, seja solar, eólico ou hidráulico.

A propriedade rural alvo deste trabalho como estudo de caso tem área de aproximadamente 1.985 ha, sendo classificada como grande propriedade, o que é comum na região (Fig. 1A). Além de produtora de arroz e soja, cumpre papel relevante por possuir armazéns de secagem e uma estação ferroviária adjacente às instalações, utilizada como porto seco para escoamento de grãos de uma cooperativa local. Sua demanda elétrica para irrigação é minimizada pelo relevo que distribui boa parte da água por gravidade para as lavouras e uma mini geradora hidrelétrica de 300kW de potência instalada que opera desde o início da década de 70. O pioneirismo da propriedade e sua importância para a região foram os principais motivos de sua escolha para este estudo.

As imagens utilizadas para fins de classificação do terreno e localização dos recursos e demandas foram obtidas de diversas procedências: Imagem Landsat 8 de resolução 30m, imageada em 8 de janeiro de 2015, e escolhida por ser livre de nuvens no período em que as culturas de verão não tiveram suas colheitas iniciadas (Fig. 1A); Modelo digital de Elevação (MDE) baseada em curvas de nível levantadas pelo exército (Fig. 1B); e as imagens de aspecto (direção de inclinação do terreno – Fig. C), e inclinação (Fig. D) derivadas do processamento do MDE; Estrada ferroviária e malha rodoviária; Percurso da rede elétrica encontrada através levantamento em campo.

Na classificação digital e processamento de imagens foi empregado o Software Open Source QGis com o plugin Semi-Automatic Classification, versão 4.4.0 (Congedo, 2014), para a obtenção das informações de cobertura e uso do solo, posições de rede elétrica de distribuição, estradas, inclinação do terreno, entre outras não menos importantes. Na classificação digital do terreno realizada por meio da imagem do satélite LandSat 8, foram reconhecidas 4 áreas distintas: a com agricultura uma área de 57%; 18% de áreas restritas ambientalmente; 16% com solos não propícios ao plantio; e 9% de solo predominantemente descoberto. A Fig. 1E mostra um exemplo de aplicação da ferramenta.

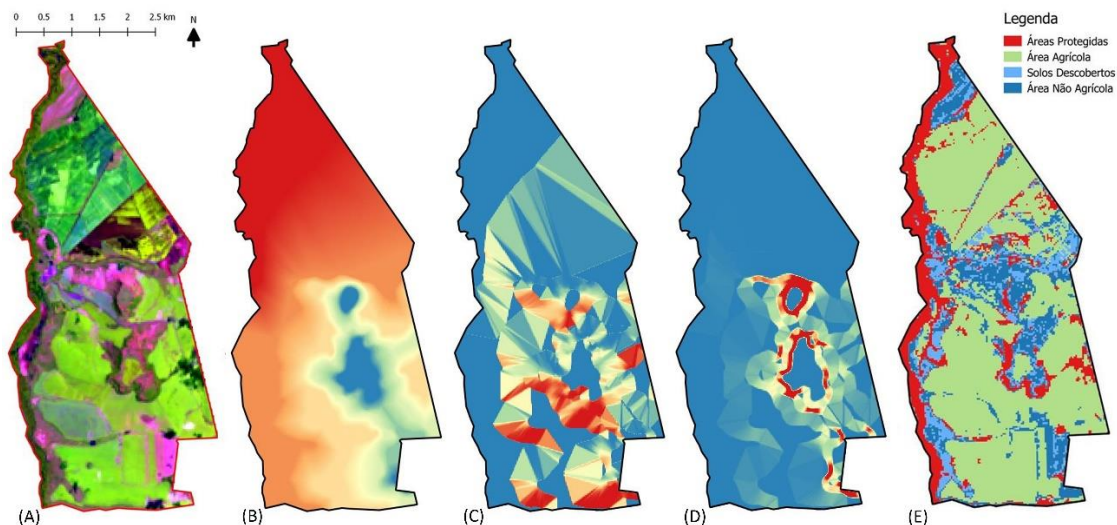


Figura 1 - (A) Imagem LandSat 8, bandas 3, 4 e 5 combinadas. (B) Modelo Digital de Elevação. (C) Aspecto do terreno. (D) Mapa de declividade. (E) Resultado da classificação digital através QGis utilizando plugin SCP.

Fonte: Elaboração própria.

Embora não perfeitamente identificável, existem canais de variados tamanhos descendentes de um rio junto à margem esquerda. Sua exposição não é visível devido a cobertura intensa da vegetação de mata ciliar combinada com a baixa resolução da imagem. Por este motivo também se justifica algumas inconsistências encontradas em diversos outros pontos, e que para os fins deste trabalho foram desprezados.

### 3. AVALIAÇÃO DOS RECURSOS ENERGÉTICOS

O planejamento energético focado em SIG traz vantagens como ferramenta para avaliar a disponibilidade dos recursos energéticos renováveis. Isto porque as diversas tecnologias existentes para geração renovável possuem limitações próprias quanto à intensidade do recurso energético mínimo, as características adequadas do local para instalação e a respeito do uso da terra. Significa dizer, que o potencial energético deve ser suficiente para gerar energia economicamente, instalado em um local com ou sem inclinação, elevado ou não, e irrestrito pelo ambiente a sua volta. Quanto ao uso da terra é desejável que seja disposto em terras não rentáveis do ponto de vista agrícola.

### 3.1 Recurso Solar

De acordo com o conceito físico, a densidade de energia para uma superfície paralela ao sol a uma distância de uma unidade astronômica, denominada constante solar, possui valor de 1.367 J/m<sup>2</sup>/s ou W/m<sup>2</sup>. Esta quantidade é reduzida a 1000 W/m<sup>2</sup> ao ultrapassar a atmosfera dando origem a outro valor teórico chamado constante solar de superfície. Em situações práticas, o valor energético que chega ao solo depende de fatores como a altitude, os ângulos da geometria solar, que se modificam com a época do ano, a latitude do local de aproveitamento, e as condições meteorológicas e atmosféricas. Seu valor é estimado pela irradiação solar em [kWh/m<sup>2</sup>], e pode ser encontrado por meio de instrumentos de medição como o piranômetro, a partir de variáveis meteorológicas e também estimados por sensores satelitais.

Na avaliação teórica do recurso solar é pressuposto que todo o terreno possa ser coberto por módulos fotovoltaicos na posição horizontal. Para isto, duas fontes de dados foram consultadas, os dados do SWERA (UNEP, 2014) e do SunData (CRESESB, 2015). A média aritmética de irradiação no plano horizontal encontrada para a região foi 4,77 kWh/m<sup>2</sup>/dia (Tab. 1), sendo o fator de capacidade de geração igual a 19,92%.

Tabela 1 - Dados de Irradiação Solar do Sundata e SWERA da cidade de Alegrete/RS [kWh/m<sup>2</sup>/dia].

Mês	Sundata	SWERA	Δ%	Local
Jan	6,08	6,38	4,70%	6,26
Fev	5,89	5,87	0,34%	5,84
Mar	5,03	5,37	6,33%	5,28
Abr	4,00	4,16	3,85%	4,09
Mai	3,28	3,07	6,84%	3,19
Jun	2,53	2,43	4,12%	2,28
Jul	3,06	2,86	6,99%	2,76
Ago	3,67	4,11	10,71%	4,09
Set	4,44	4,85	8,45%	4,73
Out	5,36	4,89	9,61%	4,88
Nov	6,83	6,87	0,58%	6,86
Dez	7,00	7,27	3,71%	7,03
Média	4,76	4,84	--	4,77

Os valores de irradiação são fundamentais para se ter a quantidade de energia produzida, devido a linearidade existente entre as horas de sol por dia e a irradiação horária (Horas de Sol Pleno - HSP). Logo, o resultado da Eq. 1 fornece a quantidade de energia mensal gerada sobre os 1.985 ha da propriedade rural do estudo de caso, considerando que sejam instalados módulos de 150 Wp (0,68x1,47x0,035m), inseridas na posição horizontal, sem espaçamentos.

$$Energia = HSP \cdot DM \cdot Pot \cdot A \cdot \mu \quad (1)$$

Onde *HSP* é dado em [h/dia], *DM* os dias ao mês, *Pot* a potência de um determinado módulo com área de 1 m<sup>2</sup> [kW/m<sup>2</sup>], *A* é a área em [m<sup>2</sup>] e  $\mu$  as perdas do sistema. Estas perdas relativas a elevação de temperatura, conversão, no cabeamento AC e DC, por degradação e devido ao acúmulo de sujeira, foram consideradas como um fator de 0,8 (IEA, 2015, p. 43). Logo, o valor calculado de energia mensal média seria de aproximadamente 273,3 GWh.

As restrições ambientais e tecnológicas são fundamentais na avaliação técnica. Ambientalmente no Brasil a Lei nº 12.651 restringe o uso do meio ambiente através da Reserva Legal e de Áreas de Preservação Permanente (APP) para fins de conservação. Na propriedade em questão, a Reserva Legal requerida é de uma cobertura de 20% de vegetação nativa, impedindo o usuário de aumentar a área cultivada. Já as APP's delimitam a supressão da vegetação próxima a acidentes geográficos, como rios, lagos, relevos ondulados. Pela lei estas faixas marginais são avaliadas em concordância com critérios específicos, podendo variar com a área, largura, inclinação, etc. Por este motivo foram respeitados valores constantes mínimos não conflitantes com a legislação (Tab. 2).

Tabela 2 - Áreas consideradas ambientalmente inadequadas para a Propriedade Rural do estudo de caso (Brasil, 2012).

<i>Terra Marginal</i>	<i>Restrição</i>	<i>Área Total [ha]</i>
Curso e Espelhos d'água	Distância marginal de 30 m	161,85
Bordas de tabuleiro ou chapada	Inclinação maior que 22°	5,80

Outras restrições estão relacionadas às faixas de servidão do meio de transporte ferroviário e rodoviário, que por lei não podem ser aproveitadas, e a faixa de passagem sob as linhas de distribuição (Tab. 3).

Tabela 3 - Áreas restritas impostas a Propriedade Rural do estudo de caso.

<i>Terra Marginal</i>	<i>Distância Marginal [m]</i>	<i>Área Total [ha]</i>
Estradas	15,00	148,20
Ferrovias	15,00	8,62
Rede de Eletricidade	7,50	4,49

As limitações tecnológicas para a instalação de módulos fotovoltaicos estão diretamente relacionadas com o sombreamento imposto pelos obstáculos artificiais (ex.: silos, armazéns, residências, etc.), predominantemente naturais encontrados no terreno (ex.: árvores, serras, etc), e o sombreamento mútuo entre módulos. No bioma da região, a vegetação denominada estepe possui poucos metros de altura, no entanto, é comum a presença de árvores (eucaliptos) que podem crescer até 20 metros de altura, plantados com o objetivo de reduzir o vento próximo as edificações. Considerando a vegetação de maior altura, a distância destes obstáculos deve ser suficiente para que a irradiação solar direta, no pior período do ano (solstício de inverno), não impeça a luz do sol. Conforme equacionamento proposto em Duffie e Beckman (2013) para garantir um período maior que quatro horas de sol pela manhã e à tarde, o ângulo de elevação solar deve ser menor que 15° (Latitude 29°). Com isso, foi adotada a distância conservadora entre módulos e obstáculo igual a 73 m (Fig. 2A).

A distância entre módulos foi calculada de forma que mesmo uma baixa elevação solar de 10° não exerça influência na geração de energia. Isto resultou num distanciamento de 2,52 m (Fig. 2B), considerado para qualquer inclinação do solo, determinado pelo método trigonométrico clássico (Castellano *et al.*, 2015). Consequentemente a densidade de potência instalada foi de 40,43 MWp/km<sup>2</sup> (404,3 kWp/ha), menor que a praticada por Lopez *et.al.* (2012), de 48 MWp/km<sup>2</sup>.

Ao ser realizado o reconhecimento digital do terreno, se identificam muitos pixels ou células na imagem (30x30m) de cobertura e uso do solo diferentes da realidade, fazendo com que regiões propícias sejam ignoradas e vice-versa. Outra restrição que se excede é devido ao distanciamento desnecessário de obstáculos ao sul das áreas propícias à instalação de módulos. Por estes motivos dois mapas de restrições foram gerados, um com as áreas de restrição de sombreamento devido a obstáculos verticais naturais (Fig. 2C) e outro sem esta restrição (Fig. 2D).

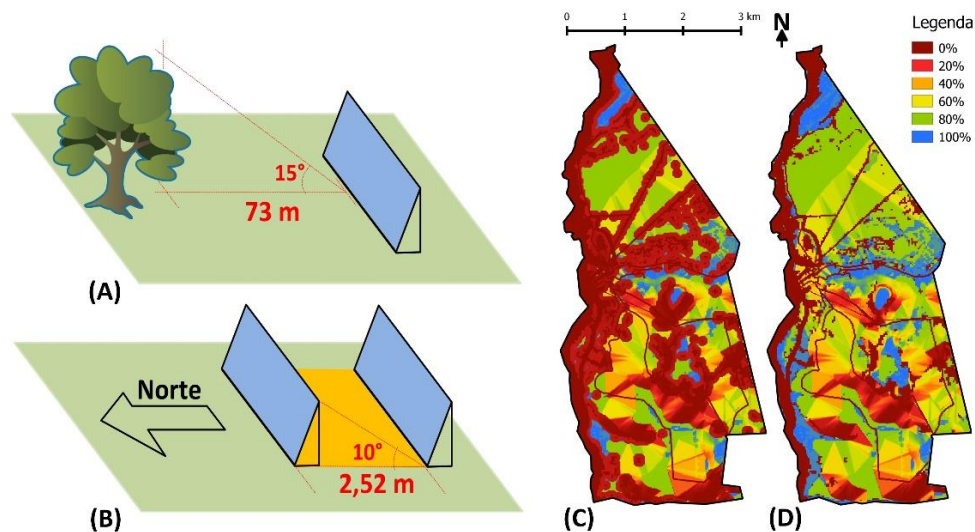


Figura 2 – (A) Distância entre módulos e obstáculos naturais. (B) Distância entre módulos. Áreas tecnicamente adequadas para instalação de Geração SF. (C) Restrição máxima de sombreamento devido aos obstáculos verticais. (D) Restrição mínima de sombreamento por obstáculos verticais.

Fonte: Elaboração própria.

A área mais propícia à instalação de sistemas fotovoltaicos com máxima restrição foi de 718 ha, e a de menor restrição foi de 1.252 ha. Ambas com 40% a 100% de adequação. A média entre estes valores de área, ou seja, 985 ha, permitiria a instalação de aproximadamente 400 MWp, gerando uma média mensal de 45,7 GWh. Nesta condição, mesmo áreas utilizadas para agricultura teriam seu uso destinado para o fornecimento de energia.

### 3.2 Recurso Eólico

A potência que pode ser extraída do vento depende simplificada de três fatores apresentados na Eq. (2). A densidade do ar  $\rho$  [1.225 kg/m<sup>3</sup>] que é inversamente proporcional à temperatura, ao quadrado do diâmetro rotórico das pás  $D$  [m<sup>2</sup>], e ao cubo da velocidade do vento  $v$  [m/s], sendo por este motivo o fator de maior influência (Pinto, 2013).

$$Pot = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \cdot v^3 \quad (2)$$

Algumas condições envolvendo o local de instalação fazem com que o aerogerador capte maior velocidade do vento. Este é o caso da exploração em locais planos e com o menor número possível de obstáculos naturais ou artificiais, permitindo que o vento escoe com reduzida perturbação. É muito comum a escolha pela instalação de geradores eólicos em torres de dezenas de metros, evitando quaisquer turbulências no vento causadas pela superfície. Ainda assim, locais com ventos acima da velocidade média de 5 m/s são opções mais adequadas para um projeto ser julgado viável, embora novas tecnologias iniciem sua geração abaixo deste valor (WEC, 2013). Por ser variante no tempo, a velocidade deve ser avaliada no mínimo por um período de um ano através medição anemométrica. De outra forma, é possível prever seu regime pela função probabilística de densidade de Weibull, vista na Eq. (3).

$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (3)$$

Onde  $k$  [adimensional] é o fator ou parâmetro de forma de Weibull, e  $c$  [m/s] é o fator ou parâmetro de escala.

A distribuição da velocidade do vento é relacionada com a curva de potência da turbina eólica, resultando na energia gerada anualmente. A escolha da turbina pode ser determinada pela demanda ou por critério de otimização, onde características técnicas e econômicas podem ser consideradas. Em sua pesquisa, Rehman et al. (2013) apresentou uma correlação empírica entre a energia gerada e a altura do cubo, através da fórmula da altitude de Hellman. Embora avaliações deste tipo tenham importância fundamental em projetos eólicos, se objetivou a velocidade mínima para viabilidade econômica considerada como 6 m/s. Assim, foi escolhido uma turbina eólica ReDriven de 10kW com altura de 68 m como referência, altura esta encontrada pela extrapolação da velocidade de 6,5 m/s (Hellman com 0,2 de coeficiente de atrito), previsto pelo Atlas Eólico do estado do Rio Grande do Sul a 100 m de altura (Camargo Schubert, 2014). Com a velocidade média  $\bar{v}$  igual a 6 m/s e o fator de forma  $k$  de Weibull de 2,9 também encontrado a partir do Atlas, foi possível determinar o fator de escala pela Eq. 4.

$$c = \frac{\bar{v}}{\Gamma(1+\frac{1}{k})} \quad (4)$$

Onde  $\Gamma$  é a função matemática Gama, também denominada função integral exponencial. O valor de  $\Gamma$  para o  $k$  igual a 2,9 é de 0,891690 de acordo com o atlas (Camargo Schubert, 2014, p. 111), resultando em um valor de  $c$  igual a 6,73.

Com a função de Weibull ajustada com estes valores, considerando que a função Gama não se modifique com a redução da altura, e utilizando a curva de potência do gerador eólico referencial selecionado através software RETScreen, a energia gerada é de aproximadamente 25,76 MWh anuais. A potência nominal de 10kW foi escolhida para suportar as demandas elétricas do ambiente rural, com fator de capacidade 29,4%.

A disposição destas torres no terreno deve causar a menor perturbação possível no vento à jusante da turbina. Denominado efeito de sombreamento ou esteira, este pode reduzir a produção de energia pelas demais turbinas, durante toda a vida produtiva da fazenda eólica. Segundo Masters (2004), a distância adequada entre equipamentos é de 5 a 9 vezes o valor rotórico entre linhas e de 3 a 5 vezes entre colunas, estando as colunas na direção predominante do vento. Sob certas condições, de acordo com Meyers e Meneveau (2012), este distanciamento pode aumentar para 15 vezes, o que pode levar a um aumento inevitável das redes elétricas. Na implementação teórica foi utilizado a distância de 9x5 sobre um valor de diâmetro rotórico de 8 m, permanecendo uma densidade de 3,5 MW/km<sup>2</sup>, novamente a baixo do estabelecido por Lopez et al. (2012) que é de 5MW/km<sup>2</sup> (Fig. 3A). É imprescindível esclarecer que a densidade de potência utilizada aqui é relacionada ao número de equipamentos distribuído pelo espaço terrestre (horizontal), não possuindo relação com o fluxo ou densidade de potência eólica que visa analisar a potência dos ventos sobre uma determinada área vertical.

A potência instalada para a área total de 1985 ha é de 68,9 MW, o que geraria anualmente 142 GWh através de 6.893 aerogeradores. O licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre no Brasil é regulado pelo poder público através do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em nível federal e pelos órgãos estaduais responsáveis. Entre suas diretrizes para com a geração de energia eólica, o CONAMA busca identificar principalmente os locais considerados de risco ambiental para áreas de preservação permanente, e áreas de concentração e rotas migratórias de aves.

No estado do Rio Grande do Sul os empreendimentos são classificados quanto a sua potência instalada, sendo que os maiores ou iguais a 100 MW devem obrigatoriamente possuir estudo e relatório de impacto ambiental (EIA/RIMA), e os de menor potência, dependendo das condições ambientais, podem ser realizados apenas com um Relatório Ambiental Simplificado (RAS). Dentre os itens de caracterização ambiental são avaliados os do meio físico, biótico, antrópico, entre outros que exigem uma atenção especializada. Neste estado brasileiro, já existe um mapeamento das regiões classificadas quanto a sensibilidade ambiental, permitindo a identificação georreferenciada preliminar da documentação exigida para seu licenciamento. Embora não existam restrições no local, e mesmo sob as circunstâncias apresentadas anteriormente, o presente estudo indica o potencial energético que pode ser provido pelos ventos, replicando as limitações antrópicas anteriormente utilizadas pela avaliação solar. Adicionalmente uma distância igual a 100 m foi deixada de toda as edificações existentes na propriedade, com o objetivo de reduzir os ruídos que chegam a estas instalações, e evitar que acidentes como a queda das torres causem maiores danos.

Avaliando tecnicamente, a área com adequação superior a 40% é de 1.144 ha, ou aproximadamente 57,6 % da área total da propriedade (Fig. 3B). A energia gerada com a redução de área é de 81,84 MWh/Ano, considerando 0,8 de fator de perdas, realizada através de 3.972 geradores eólicos (39,72 MW instalados).

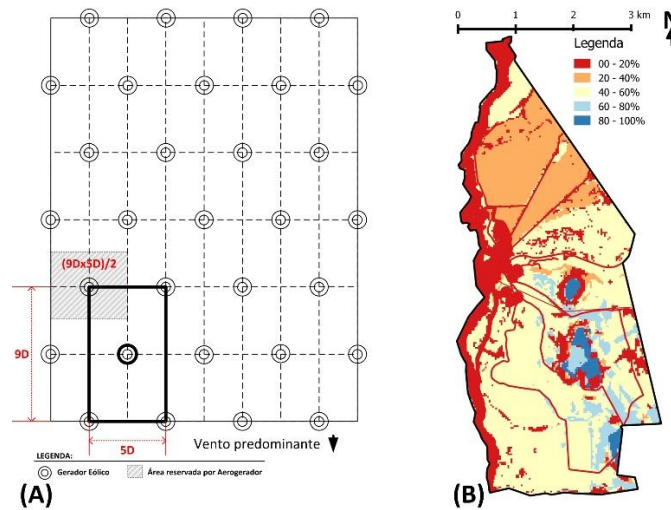


Figura 3 - (A) Distanciamento para a instalação de Geração Eólica. (B) Áreas tecnicamente adequadas para instalação de Geração Eólica. Fonte: Elaboração própria.

Diferente do que ocorre com a energia solar, a eólica não cobre o solo inteiramente, indisponibilizando pequenas áreas próximas à base da torre e nas regiões sob a rede elétrica, caso a eletricidade seja conduzida de forma aérea, ou limitada pela profundidade nos locais de passagem subterrânea. No mesmo sentido, percebe-se que a exploração em células isoladas (Gerador eólico isolado) e em matrizes (*Wind Farm*) possuem valores distintos em função do conjunto eólico exigir uma área maior, evitando o efeito esteira.

#### 4. RESULTADOS

Devido às restrições encontradas no terreno as diferentes avaliações para a tecnologia eólica e solar resultam em diferentes valores de potência e energia que podem ser adequadas para a propriedade rural estudada. A Tab. 4 demonstra estas desigualdades onde a razão é de 11,64 entre sistemas solar fotovoltaico e eólico na densidade de potência e de 7,88 para a densidade de energia, ficando evidente a vantagem na instalação por parte da SF, por maior que seja sua limitação devido ao sombreamento, e a elevada geração por equipamento eólico.

Tabela 4 – Valores encontrados através avaliação SIG.

Fonte	Densidade		Avaliação Teórica			Avaliação Técnica		
	Potência [MW/km <sup>2</sup> ]	Energia [MWh/km <sup>2</sup> ]	Área [km <sup>2</sup> ]	Potência [MW]	Energia [GWh]	Área [km <sup>2</sup> ]	Potência [MW]	Energia [GWh]
Eólica	3,47	7.154	19,85	68,9	142	11,440	39,72	81,84
Solar FV	40,4*	56.440	19,85	801,9*	1.120	9,854	398,10*	556,16

\* Potência de pico.

Na avaliação econômica de ambos os sistemas foi utilizado a paridade entre a taxa da energia renovável e a tarifa da distribuidora (custo evitado) como artifício para identificar o valor dos investimentos. A tarifa de energia média da classe rural da região sul (0,277 R\$/kWh), permite encontrar o valor de investimento *I* em potência instalada ou de pico para ambos os sistemas (Eq. 5).

$$I = Tar. E. \left( \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) \quad (5)$$

Os parâmetros e os valores utilizados na Eq. 5 estão apresentados na Tab. 5.

Tabela 5 - Parâmetros e valores aplicados na Eq. 5.

Parâmetros	Valores
<i>I</i> Investimentos	--
<i>Tar</i> Tarifa	0,277 R\$/kWh
<i>E</i> Energia Gerada Anual Fotovoltaica	1.395,95 kWh/Ano
Energia Gerada Anual Eólica	2.060,60 kWh/Ano
<i>i</i> Taxa de desconto*	8,75 %
<i>n</i> Vida útil	20 Anos

\* Valor do juros praticado pelo Crédito Rural (Brasil, 2015)

Com isto, os sistemas não podem ultrapassar os valores de 3.595 R\$/kWp e 3.705 R\$/kW, respectivamente SF e eólico, para que se mantenha a paridade. Como se trata de uma configuração on-grid, estão internalizados no valor *I* a aquisição, operação e manutenção (O&M), conversão e conexão com a rede elétrica. Com um custo de 25.000 R\$/km de rede trifásica no mercado local, as melhores opções para o produtor rural investidor são os locais em que a geração de energia seja máxima, com o menor custo de O&M e rede. Utilizando os dados de rede contidas no SIG sobrepostas às obtidas para adequação das fontes renováveis se percebe os locais de investimento onde poderá haver o atendimento a estes requisitos técnicos-econômicos.

Outro custo ou lucro evitado que deve ser observado é o da terra. Como a imagem possui resolução espacial de 30x30m (900 m<sup>2</sup>/Cel), e o valor médio de lucro do arroz e da soja fossem analisados por mês e não por safra (FARSUL, 2014), resultariam em 4,58 R\$/Mês/Cel e 8,24 R\$/Mês/Cel, respectivamente. Por outro lado, a energia solar fotovoltaica estaria gerando em média 4,24 MWh/Mês/Cel, por meio de 36,45 kWp, com um custo evitado suficiente apenas para pagar o investimento. Caso o custo da eletricidade comercializada pela distribuidora local estivesse acima da tarifa utilizada para paridade (0,277R\$/kWh) em 0,05 R\$/kWh, o investimento retornaria 212 R\$/Mês/Cel em média. Ou seja, além de se pagar, o investimento cobriria o lucro do uso da terra, tanto para plantações de arroz quanto para soja (Tab. 6).

Tabela 6 - Densidade de Potência e Energia por célula para sistemas SF e eólico e lucratividade para um acréscimo de 0,05 R\$/kWh no cálculo de paridade.

Distribuição	Densidade		Lucratividade [R\$/Mês/Cel]*
	Potência [kW/Cel]	Energia [kWh/Mês/Cel]*	
Fotovoltaica	36,40	4.240	212,00
Eólica isolada	10,00	1.717	85,85
Eólica matriz	3,12	536	26,80

\*Valores Médios

Embora o custo do kW esteja muito abaixo do valor praticado segundo a estatística da OpenEI (2015), uma redução na taxa de juros, redução no câmbio ou redução no preço devido a economia de escala, mudaria completamente este cenário, viabilizando os investimentos. Além disto, os produtores contariam com a vantagem da disponibilidade e qualidade da energia consumida, não necessitando atender horários pré-estabelecidos pela distribuidora, e reduzindo as preocupações com relação à bandeira tarifária vigente.

## 5. CONCLUSÕES

De acordo com levantamento histórico dos valores de tarifa, a média de elevação é de 10% ao ano. Logo, considerando como valores atuais 6.400 R\$/kWp de investimento para um sistema SF e 8.000 R\$/kW para um eólico (Abdullah, Muttaqi e Agalgaonkar, 2015), a paridade seria alcançada em um tempo menor do 6 anos para a primeira e de 8 para a segunda, sem considerar o valor do custo da demanda no caso do consumidor rural na modalidade horo-sazonal. Ao mesmo tempo a tendência é que as tecnologias de energias renováveis reduzam seu custo. Conforme previsão de Rojas-Zerpa e Yusta (2015) a eólica reduzirá 0,91% e a solar 1,91%, ambas ao ano, diminuindo o tempo de paridade.

Planejar através de ferramentas que se apoiem no SIG com o objetivo de avaliar recursos renováveis permite prever quais regiões são mais suscetíveis a receber investimentos, favorecendo tanto os proprietários rurais como potenciais investidores a promover ações de produção energética, que ao mesmo tempo poderão assegurar a qualidade do produto e do serviço energético à preços competitivos como aqueles praticados pela distribuidora de energia. Beneficia também o poder público, facilitando a identificação de novos mecanismos regulatórios, de incentivo econômico e controle ambiental.

Portanto, comprova-se que a identificação dos recursos renováveis exploráveis encontrados no meio rural constitui-se no primeiro passo para uma mudança de concepção onde o uso da terra passa a ser vista de forma mais adequada, não somente pela utilização agrícola, mas sob o ponto de vista de tecnologias de energias renováveis. Assim, a inserção das tecnologias de geração distribuída renováveis não devem ser entendidas como concorrentes com as áreas de cultivo e sim complementares a estas atividades, visando a maior lucratividade dos produtores rurais.

## REFERÊNCIAS

- Abdullah, M. A.; Muttaqi, K. M.; Agalgaonkar, A. P., 2015. Sustainable energy system design with distributed renewable resources considering economic, environmental and uncertainty aspects. *Renewable Energy*, v. 78, p. 165–172.
- Brasil, B. C. Do., Acesso em: 5 nov. 2015. Crédito Rural. Disponível em: <[http://www.bcb.gov.br/?CREDITO\\_RURALFAQ](http://www.bcb.gov.br/?CREDITO_RURALFAQ)>.
- Camargo Schubert, 2014. Atlas Eólico do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: AGDI.
- Castellano, N. N. *et al.*, 2015. Optimal displacement of photovoltaic array's rows using a novel shading model. *Applied Energy*, v. 144, p. 1–9.
- Congedo, L. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. p. 106, 2014.

- CRESESB. Acesso em: 15 ago. 2015. Potencial Solar SunData. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>.
- Duffie, J. A.; Beckman, W. A., 2013. Solar engineering of thermal processes. Wiley.
- Farsul, 2014. Relatório Econômico 2014 & perspectiva para 2015.
- IEA. Energy from the Desert : Very Large Scale PV Power Plants for Shifting to Renewable Energy Future.
- Jamal, T. *et al.*, 2014. Potential rooftop distribution mapping using Geographic Information Systems (GIS) for Solar PV Installation: A case study for Dhaka, Bangladesh 2014 3rd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET). Anais. IEEE.
- Latinopoulos, D.; Kechagia, K. A., 2015. GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece. Renewable Energy, v. 78, p. 550–560.
- Lopez, A. *et al.*, 2012. U . S . Renewable Energy Technical Potentials : A GIS-Based Analysis. Washington. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/>>.
- Masters, G. M., 2004. Renewable and Efficient Electric Power Systems. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Mattar, C. A. C., Acesso em: 26 jun. 2015. REN nº 482 de 2012: Cenário Atual e Propostas da AP 26 de 2015. Disponível em:<[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/dspListaApresentacao.cfm?attAnoAud=2015&attIdeFasAud=971&attAnoFasAud=2015&id\\_area=13](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/dspListaApresentacao.cfm?attAnoAud=2015&attIdeFasAud=971&attAnoFasAud=2015&id_area=13)>.
- Mellino, S. *et al.*, 2014. An emergy–GIS approach to the evaluation of renewable resource flows: A case study of Campania Region, Italy. Ecological Modelling, v. 271, p. 103–112.
- Meyers, J.; Meneveau, C., 2012. Optimal turbine spacing in fully developed wind farm boundary layers. Wind Energy, v. 15, n. 2, p. 305–317.
- Miloca, S. A. *et al.*, 2015. Expansion planning problem in distribution systems with reliability evaluation: An application in real network using georeferenced database. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, v. 70, p. 9–16.
- OPENEI, Acesso em: 24 jun. 2015. Transparent Cost Database. Disponível em: <<http://en.openei.org/apps/TCDB/>>.
- Pinto, M. O, 2013. Fundamentos de Energia Eólica. Rio de Janeiro, RJ: LTC.
- Rehman, S. *et al.*, 2013 Empirical correlation between hub height and local wind shear exponent for different sizes of wind turbines. Sustainable Energy Technologies and Assessments, v. 4, p. 45–51.
- Rojas-Zerpa, J. C.; Yusta, J. M., 2015. Application of multicriteria decision methods for electric supply planning in rural and remote areas. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 52, p. 557–571.
- Thakur, J.; Chakraborty, B., 2015. Intelli-grid: Moving towards automation of electric grid in India. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 42, n. 2015, p. 16–25.
- UNEP, Acesso em: 11 dez. 2014. Solar and Wind Energy Resources Assessment. Disponível em: <<http://en.openei.org/wiki/SWERA/Data>>.
- WEC, 2013. World Energy Resources: 2013 Survey. London: World Energy Council.
- Weng, Q., 2014. Assessing solar potential of commercial and residential buildings in Indianapolis using LiDAR and GIS modeling 2014 Third International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA). Anais. IEEE.

## RENEWABLE RESOURCES ALLOCATION IN RURAL PROPERTIES THROUGH GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

**Abstract.** Distributed generation (DG) may be cited as one of the planning of actions by the Demand Side (PLD) portraying great results, as well as making the energy producer user, this motivates to use energy consciously. However, it is clear that the first step is to indicate the most appropriate places for the exploitation of renewable resources. Therefore the aim of this paper is to present a methodology using Geographic Information System that will identify the best locations for the exploitation of energy resources, taking into account the farmers' needs for rice crops and soybeans predominate in rural western state of Rio Grande do Sul. It is initially presented the methodology and is passed after the assessment of energy resources. The identification of the most suitable points for each resource and an analysis of parity between the cost of technology and the rural rate is one of the main results presented.

**Keywords:** Distributed generation, Renewable resources, Geographic information systems.