

## PROPOSTA DE UM SIMULADOR DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA RENOVÁVEL

Júlio César Pinheiro Pires<sup>1</sup>  
Branca Freitas de Oliveira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Santa Maria*

<sup>2</sup>*Universidade Federal do Rio Grande do Sul*

DOI: 10.47168/rbe.v27i4.607

### RESUMO

A geração distribuída de energia pode ser considerada benefício sustentável, porém ainda não é uma prática disseminada no Brasil. Entre alguns dos entraves que minimizam sua utilização está a desinformação a respeito do assunto. Este artigo descreve os procedimentos para desenvolvimento de um simulador de geração de energia no formato web-based, a partir de um simulador existente. O sistema existente permite simular apenas energia eólica, ao passo que o proposto considera simulação de energia eólica, solar fotovoltaica e híbrida (solar + eólica). Na elaboração do novo simulador levou-se em conta a leveza e velocidade de uso, além de uma nova identidade visual comparado ao aplicativo original. O produto resultante conta com uma organização em abas, permitindo alternar entre as partes e etapas, melhorando a experiência de simulação em relação ao aplicativo de referência. O sistema foi disponibilizado gratuitamente na web no período de 22/12/2017 a 28/02/2021 e obteve 8287 acessos por 1319 usuários, auxiliando na divulgação de benefícios da geração distribuída de energia elétrica.

Palavras-chave: Geração distribuída; Energia eólica; Energia fotovoltaica; Sustentabilidade energética; Energias renováveis.

### ABSTRACT

Distributed energy generation can be considered a sustainable benefit, but it is not yet widespread in Brazil. Among some of the obstacles that minimize its use is the misinformation about the subject. This article describes the procedures for developing a simulator of power generation in web-based format, from an existing simulator. The original system allows to simulate only wind energy, while the proposed one considers wind, solar photovoltaic and hybrid (solar + wind) simulation. The new

simulador takes into account the lightness and speed of use, as well as a new visual identity compared to the original application. The resulting product has an organization in tabs, allowing to switch between the parts and steps, improving the simulation experience in relation to the reference application. The application was made available free on the web in the period 12/22/2017 to 02/28/2021 and 8287 access were registered, by 1319 different users, aiding in the dissemination of benefits of distributed generation of electric power.

Keywords: Distributed power generation; Wind energy; Photovoltaic energy; Energy sustainability; Renewable energy.

## 1. INTRODUÇÃO

Geração distribuída de energia é aquela que é feita descentralizada, gerando alguns benefícios como a redução de dependência de concessionárias de energia elétrica, economia financeira, entre outros.

A conversão de eletricidade feita por TEPP (Turbina Eólica de Pequeno Porte) ou por FV (painéis Fotovoltaicos) pode ser considerada geração distribuída, dependendo da potência dos equipamentos de conversão e da energia gerada. De acordo com ANEEL (2016), geração distribuída e geração compartilhada de energia se dão quando são utilizados equipamentos de conversão local, com potência igual ou inferior a 75 kW.

A Resolução Normativa 687, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2016), especifica que qualquer proponente que queira gerar sua própria energia elétrica pode solicitar a ligação de seu conversor na rede da concessionária de energia elétrica que o abastece. Desta maneira é possível fornecer energia para rede gerando créditos de energia em caso de geração excedente. Ao mesmo tempo, esses créditos podem ser usados quando o proponente não puder gerar ou quando a geração não for suficiente para seu consumo total.

Entende-se que exista uma falta de interesse na divulgação desses benefícios, ou os mesmos podem não estar claros o suficiente para incentivar pessoas a aderir a essa prática. O número de investimentos em sistemas de microgeração é considerado baixo no Brasil. Até agosto de 2020, o país registrava 367.426 unidades consumidoras com geração distribuída. Destas, apenas 128 eram por TEPP e 354.451 por FV, totalizando 3.414 MW de potência instalada nestas duas modalidades (ANEEL, 2020). Ao mesmo tempo, destaca-se a produção norte americana, que em 2020 registrou conversão na ordem de 24.000 MW de energia somente por sistema solar fotovoltaico (ELECTRICITY MONTHLY UPDATE, 2020).

Pires (2017) relata, em sua pesquisa de doutorado, que desin-

formação é uma das principais causas da baixa adesão aos sistemas de conversão própria de energia elétrica. O mesmo autor cita que o desinteresse das fornecedoras de energia em divulgar tais benefícios colabora para a baixa procura em investimento para produção própria de energia.

Se por um lado a falta de informações restringe o crescimento da geração distribuída no Brasil, por outro lado existem ações para minimizar este fato. Um número cada vez maior de sistemas de informação na área de energia pode ser encontrado na web, em páginas de institutos ligados a sustentabilidade, páginas de empresas de equipamentos, laboratórios de pesquisas e etc. Alguns exemplos são o simulador da concessionária Light (Light Serviços de Eletricidade S.A., 2016), o simulador da concessionária ENERGISA (ENERGISA, 2016), o simulador da empresa Furnas (FURNAS Centrais Elétricas S.A., 2016), o simulador solar do Instituto IDEAL (IDEAL, 2016) e o simulador solar do Google (Google, 2016), que estão disponíveis *on-line*. A tendência de tais sistemas é informar aos usuários como melhorar o uso da eletricidade, torna-lo mais racional, bem como informar sobre geração própria de energia elétrica, principalmente por fontes renováveis.

O presente artigo apresenta um sistema *web-based* no qual se pode realizar simulações na área de energia elétrica. A partir de um aplicativo existente desenvolveu-se dois novos módulos, incrementando as possibilidades de realização de simulações por fontes renováveis eólica, solar e híbrida (eólica + solar).

Pires e Oliveira (2019) apresentaram um estudo similar a este, em um encontro de sustentabilidade no ano de 2019. Naquele estudo foram divulgados resultados de acesso ao sistema, porém sem a realização de testes para avaliar o método.

## 2. O APLICATIVO EXISTENTE

Em 2016 foi publicado o aplicativo de simulação SIEólica no portal da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Este aplicativo (Fig. 1) permite realizar simulações para verificar a carga elétrica de uma residência, assim como saber características de uma turbina eólica para suprir essa carga. Além disso é possível simular o tempo do retorno financeiro ao investir em uma entre quatro opções de turbinas eólicas disponíveis no aplicativo. O aplicativo faz parte de um sistema de informação homônimo no formato de página de internet, que conta com informações sobre energia eólica (PIRES E OLIVEIRA, 2016).

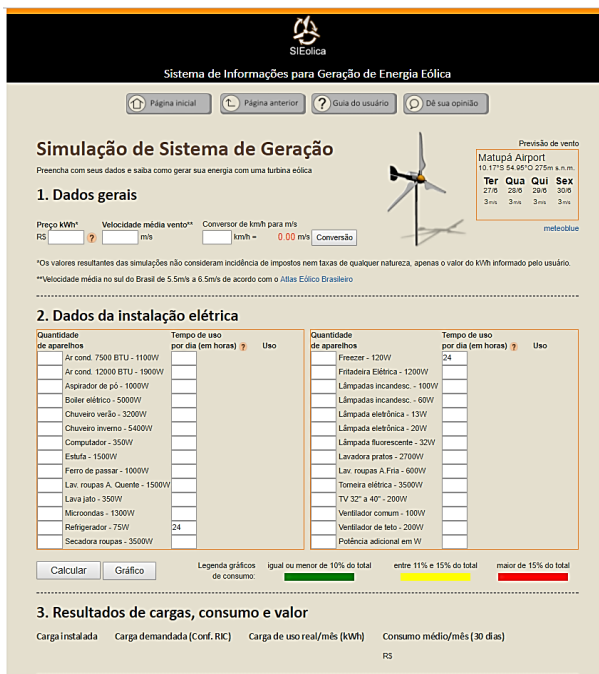


Figura 1 - Interface do SIEólica

O aplicativo SIEólica foi implementado inicialmente como protótipo funcional, utilizando-se JavaScript, HTML (Hypertext Markup Language) e CSS (Cascading Style Sheets), priorizando-se leveza e não necessidade de banco de dados. Para usuários, a principal característica pretendida no aplicativo foi a usabilidade (PIRES E OLIVEIRA, 2016).

### 3. PROPOSTA DE UM NOVO SIMULADOR

A partir da experiência com o aplicativo *web-based* SIEólica, cujo funcionamento está vigente desde o início de 2016, constatou-se, através de dados de acessos, que a realização de simulações pode auxiliar na obtenção de informações sobre geração de energia (geração distribuída e geração compartilhada). Por isso, o acréscimo de outros módulos, diversificando as fontes de conversão, representa um ganho em relação ao aplicativo original. A realização de simulações de geração de energia por fonte solar fotovoltaica significa um incremento em um simulador como o SIEólica. Além disso, a elaboração do mó-

dulo solar permite ou facilita a implementação de outro módulo, no qual usuários possam simular geração híbrida, ou seja, utilizando ambas as fontes de energia.

### 3.1 Revisão do leiaute

O aplicativo original conta com uma identidade visual caracterizada por símbolos e cores específicos. Essa caracterização ajuda usuários a identificar o aplicativo, contribuindo para associação do conteúdo com o próprio leiaute.

Apesar disso, propõe-se uma mudança em tais características para facilitar uma desvinculação desse aplicativo, pois pretende-se que usuários tenham experiência nova, ficando iguais apenas algumas características do formulário do SIEolica. Desta maneira o leiaute do aplicativo revisado (Fig. 2) conta com abas laterais onde o usuário poderá escolher e alternar entre elas na realização de simulações. Algumas dessas abas devem ser utilizadas sequencialmente, pois resultados de umas são utilizados por outras.



Figura 2 - Leiaute revisado proposto

Foram implementadas sete abas com conteúdo independente. Algumas dessas abas (Introdução, Ajuda e Sobre o sistema) estão inseridas como *iframe* no arquivo index HTML, liberando o arquivo principal para programação do conteúdo dos simuladores. Essa separação faz parte do sistema de separação implementado em SIEolica para arquivos de funções tipo JavaScript e arquivos de apresentação visual tipo CSS, assim como outros conteúdos que não fazem parte dos simuladores.

O sistema de abas conta com o seguinte conteúdo:

1. Aba Introdução: Boas-vindas ao aplicativo, texto explicando do que se trata o sistema, três figuras que remetem aos três tipos de simulações possíveis e alguns links institucionais.
2. Aba Instalações Elétricas: Esta aba apresenta a parte de SIEólica onde usuários fornecem o preço do kWh de sua concessionária e escolhem aparelhos e tempo de uso de cada um para simular seu consumo de eletricidade em um mês.
3. Aba Energia Eólica: Simulador de energia eólica. É o mesmo de SIEólica, com todas suas funcionalidades.
4. Aba Energia Solar: Implementado a partir desta pesquisa. Formulário no qual o usuário simula geração de energia solar a partir de algumas escolhas, como local onde se encontra no Brasil e tipo de painel fotovoltaico.
5. Aba Híbrido: Módulo novo também. Consiste em um simulador considerando energia eólica e solar. O usuário poderá escolher alguns parâmetros e solicitar ao aplicativo para calcular a proporção mais econômica.
6. Aba Ajuda: Contém o Guia do Usuário, nos moldes de SIEólica, para auxiliar a realização de simulações durante a experiência do usuário no aplicativo.
7. Aba Sobre o Sistema: Conteúdo inserido como *iframe* para relatar informações sobre o sistema, sobre seus autores e sobre a pesquisa que gerou tal produto

### **3.2 Energia solar**

A simulação de conversão fotovoltaica tem início pela escolha da região onde o usuário instalará seu sistema. Foi implementado um mapa do Brasil com cinco regiões (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul), possibilitando a escolha por clique (Figura 3). Ao selecionar uma região, o sistema mostrará a radiação global média em kWh/m<sup>2</sup>, de acordo com o Atlas de Energia Solar do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações do Brasil (2020).



Figura 3 - Aba energia solar

Após a escolha da região, o usuário segue com a simulação preenchendo ou não campos com os três últimos valores de carga consumida. Nessa parte, se preferir, o usuário poderá considerar o valor da carga preenchida previamente na aba Instalações Elétricas. Para isso, basta preencher o conteúdo da referida aba para que a parte energia solar, assim como eólica, herdem os resultados de cargas para simulação.

Os resultados da simulação são apresentados de duas maneiras: sistema para suprir toda a demanda do usuário e escolha de tipos de painéis diferentes. Na primeira é apresentada a energia produzida por metro quadrado de sistema, de acordo com a região selecionada, a área de painéis e a quantidade de painéis (considerando um tamanho padrão de painel de 1,63 x 0,98 m). Na segunda o usuário poderá escolher um entre quatro tipos de painéis para seu sistema (silício monocristalino, silício policristalino, silício amorfo e telureto de cádmio), conforme Figura 4. Além disso o sistema informa a emissão de CO<sub>2</sub> equivalente que é evitada pela adoção do sistema selecionado.



Figura 4 - Resultados de simulação energia solar

### 3.3 Simulação híbrida

O sistema proposto considera simulação de conversão de energia por fonte eólica, solar e híbrida. A parte híbrida trata da conversão pelas duas fontes. Assim, foi implementada a aba Sistema híbrido, onde esse tipo de simulação pode ser realizado.

A simulação de sistema híbrido apresenta resgate de valores de cargas da aba Instalações Elétricas e/ou possibilidade de preenchimento dos três últimos valores de cargas, assim como nos casos da simulação eólica e solar fotovoltaica. Além disso, também há o resgate das informações fornecidas nas abas Energia Eólica e Energia Solar. Dessa maneira o usuário não precisará preencher formulários novos, uma vez que já informou seus dados nas referidas abas. Entretanto, para simulações que serão realizadas somente na modalidade híbrida, o usuário terá que voltar à aba Instalações elétricas se quiser considerar resultados daquela parte. Os demais dados necessários para este tipo de simulação podem ser preenchidos diretamente nesta aba.

Após definidos os parâmetros, o sistema irá considerar a melhor relação custo-benefício, na qual o retorno financeiro do valor investido se dará em menor tempo. Os resultados da simulação híbrida são apresentados conforme a Figura 5.

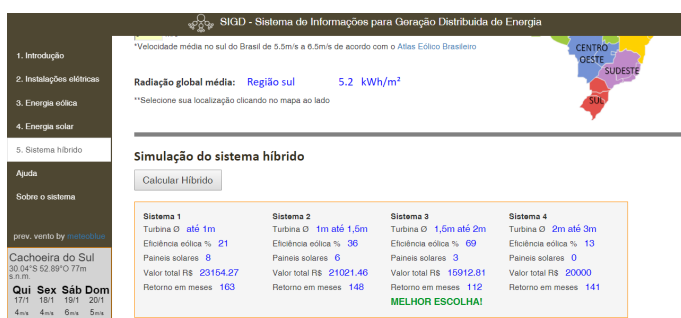


Figura 5 - Resultados de simulação híbrida

Ao realizar a simulação híbrida, o usuário depara-se com quatro opções de sistemas, cada um mostrando características diferentes. Os sistemas implementados apresentam os seguintes dados: diâmetro da turbina, eficiência eólica, número de painéis solares, valor total investido (em Reais) e retorno em meses. Na Figura 5 é possível ver os resultados de uma simulação para sistemas híbridos que considerou



uma carga a suprir de 290 kWh, com preço por quilowatt-hora de R\$ 0,49. Nesta simulação a melhor escolha para o usuário foi o Sistema 3, no qual é considerada uma turbina eólica de pequeno porte, com diâmetro entre 1,5 m e 2 m. Essa turbina poderá suprir, se for instalada em um local com vento médio anual de 6 m/s, até 69% da carga informada pelo usuário. O restante (31%) será suprido por três painéis fotovoltaicos, instalados na região sul do Brasil, onde a radiação global média, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, é de 5,2 kWh/m<sup>2</sup>. As escolhas de localização e da velocidade média de vento são feitas pelo usuário, clicando na região do mapa inserido nessa parte do simulador e preenchendo o campo de velocidade média de vento.

O processo de geração distribuída e/ou compartilhada prevê o fornecimento de energia excedente para a rede elétrica da concessionária de energia elétrica. Ao fornecer energia à rede, a unidade consumidora pode receber créditos para utilizar quando não está efetivamente gerando. Neste sentido, em uma próxima revisão do aplicativo poderia ser implementado um campo onde usuários teriam informações sobre esse processo.

### 3.4 Funções em JavaScript

A parte lógica do sistema foi implementada em linguagem JavaScript, com arquivos externos, com atributo tipo src para ligar ao arquivo Index.html, que renderiza a página no navegador do usuário.

A organização do sistema é fundamental para entendimento parcial e global. A utilização de métodos de separação caracteriza ganho quando a elaboração e manutenção do sistema são feitos por grupos de pessoas (times de desenvolvimento).

O sistema desenvolvido nesta pesquisa utiliza método de abstração procedimental para resolver problemas de separação. Abstração procedimental, segundo Aguilar (2008), é quando subprogramas podem ter seus códigos independentes do programa principal, desde que sirvam ao propósito deste. Assim este método foi executado separando-se a parte lógica da parte visual do aplicativo de simulação.

Da abstração proposta resultaram 30 arquivos do tipo .js, que executam funções. Esses arquivos estão referenciados ao arquivo principal (index) do sistema. Do total desses arquivos, 15 são novos, implementados a partir desta pesquisa e 15 são resultantes da pesquisa de Pires e Oliveira (2016), elaborados para o SIEólica.

O Quadro 1 apresenta alguns dos novos arquivos e suas funções dedicadas ao sistema.

### Quadro 1 - Arquivos de *script* e suas funções

Arquivo	Função
CalcularHibrido	Calcula a melhor solução para simulação considerando conversão de eletricidade por TEPP e painéis fotovoltaicos. Os resultados são: diâmetro da TEPP, eficiência eólica, número de painéis solares, valor total do sistema e o tempo de retorno financeiro, em meses. Os resultados são enviados para cada um dos quatro Sistemas do aplicativo, apresentando sempre um que representa a melhor escolha para o usuário.
CalcularPaineis	Calcula, para cargas fornecidas, a área necessária e a quantidade de painéis fotovoltaicos para suprir essa carga, de acordo com as escolhas do usuário, principalmente a localização geográfica na forma de mapa do Brasil clicável.
Norte	Funções que recebem a escolha do usuário, por região, e mostram dados de Radiação Global Média. Estes dados são usados nos cálculos de dimensionamento do sistema fotovoltaico tanto para energia solar quanto para sistema híbrido.
Sul	
Sudeste	
Centrooeste	
Nordeste	
SiAmorfo	Funções que calculam, para a energia solar fotovoltaica, área do sistema, quantidade de painéis, porcentagem de carga a suprir, valor de investimento e tempo de retorno.
SiMono	
SiPoli	
TelurCadmio	

O *script* CalcularHibrido (Quadro 2) retorna uma série de informações na interface de interação do aplicativo.

### Quadro 2 - *Script* que retorna dados do Sistema Híbrido

199 //SISTEMA 3
200 var FatVento2 = 0.923*(Math.pow(ventoHibrido, 3));
201 percent_a2 = FatVento2/(cargareal)*100;
202 percent_b2 = FatVento2/(ValorCargaMedia4)*100;
203 if (ValorCargaMedia4==0.0) {percent_2 = percent_a2;} else{percent_2 = percent_b2;}
204 var percentualEolico3 = percent_2.toFixed(0);
205 formulario4.percentualEolico3.value = percentualEolico3;
206 //Paineis solares
207 numero1_2 = (((100-(percentualEolico3*1))*0.01)*cargareal);
208 numero2_2 = (((100-(percentualEolico3*1))*0.01)*ValorCargaMedia4);
209 if (ValorCargaMedia4==0.0) {bla2 = numero1_2;} else{bla2 = numero2_2;}
210 var cargaSolar2 = bla2;
211 //formulario4.Npaineis1.value = Npaineis1;

### Quadro 2 - *Script* que retorna dados do Sistema Híbrido (continuação)

212 energ2 = (irradiacaoHibrido)*(0.12)*(30);
213 var energia2 = energ2;
214 area_a3 = (cargaSolar2)/(energia2);
215 var areapainéis3 = area_a3;
216 quant3 = (areapainéis3) / 1.5974;
217 if (quant3 < 0) {quantidadepainéis2 = 0;} else { quantidadepainéis2 = quant3; }
218 var Npainéis3 = quantidadepainéis2.toFixed(0);
219 formulario4.Npainéis3.value = Npainéis3;
220 //PREÇO DO SISTEMA
221 preçoTurbina2 = 12500;
222 preco_x3 = 419.01 * (areapainéis3) * (cargaSolar2 / 100);
223 if (Npainéis3<=8) {preco_inversor3 = 21.79;} else{preco_inversor3 = 13.14;}
224 inversor_1c = (preco_inversor3) * (cargaSolar2);
225 PreçoTotal2 = (inversor_1c) + (preco_x3) + (preçoTurbina2);
226 var ValorTotal3;
227 if (Npainéis3 == 0) {ValorTotal3 = 12500.00;}else {ValorTotal3 = PreçoTotal2.toFixed(2);}
228 formulario4.ValorTotal3.value = ValorTotal3;
229 //TEMPO DE RETORNO
230 retorno1b = (ValorTotal3)/(preço);
231 retorno2b = (ValorTotal3)/(preçomedio2);
232 if (preçomedio2==0.0) {Tretorn2 = retorno1b;} else{Tretorn2 = retorno2b;}
233 var Tretorno3 = Tretorn2.toFixed(0);
234 formulario4.Tretorno3.value = Tretorno3;

O *script* apresentado retorna quatro parâmetros. Na linha 200 foi implementada a equação para definir qual a eficiência eólica do sistema, ou seja, o quanto de energia será suprido por uma turbina eólica de diâmetro do rotor entre 1,50 m e 2,00 m. Nas linhas 201 e 202 são consideradas as cargas vindas da aba Energia elétrica ou especificadas pelo usuário na própria aba de Sistema híbrido. Na linha 205 o valor do percentual a suprir pela TEPP é enviado ao formulário no *browser* do usuário. Nas linhas 207 a 219 é calculado o número de painéis solares para suprir o restante que a TEPP não foi capaz. Pode-se ver na linha 212 que a constante “energ2” recebe valor da multiplicação entre uma variável (referente à escolha da região do usuário), os números 0,12 e 30. O número 0,12 representa a eficiência do painel, obtido por uma média encontrada na literatura através de uma pesqui-

sa bibliográfica. O número 30 se refere aos dias de radiação em um mês. Para este caso não foi considerado, nesta parte, o número de dias de sol, pois a variável “irradiacaoHibrido” já está recebendo valor de Irradiação Global de acordo com a região do usuário.

A quantidade de painéis é calculada pela área necessária dividida pela área de um painel, considerado aqui 1,5974 m<sup>2</sup> (painel padrão de 1,63 x 0,98 m).

As linhas 221 a 228 se referem ao preço do sistema (turbina eólica + painéis fotovoltaicos + diversos). O preço da turbina foi considerado de acordo com a dimensão de seu rotor. Esses valores foram herdados da pesquisa do aplicativo SIEolica (PIRES E OLIVEIRA, 2016).

O preço do sistema de conversão fotovoltaico foi dividido para uma aproximação de valores reais. Na linha 222 do *script* do quadro 1, foi criada uma constante para o preço exclusivamente dos painéis. O valor 419.01 refere-se ao preço do metro quadrado de painel de silício monocristalino. Já para considerar o preço do inversor (equipamento para transformação de corrente contínua em corrente alternada), foi feito, na linha 223, uma condição em que se o número de painéis for igual ou menor a oito, o preço do inversor, considerando os demais equipamentos como cabos, disjuntores, braçadeiras e etc. é de R\$ 21,79/kWh. Se o número de painéis necessários para o sistema for maior do que oito, o preço do inversor será de R\$ 13,14/kWh. Como este preço está em Reais por kWh, multiplica-se o valor por uma variável que recebe o valor da carga solar, ou seja, a carga que não foi suprida pela turbina eólica. Para finalizar a estimativa do preço do sistema, soma-se o preço da turbina eólica com o dos painéis fotovoltaicos e o do inversor (e demais equipamentos).

O tempo de retorno, também apresentado nos resultados da simulação híbrida, é calculado nas linhas 230 e 231 pela divisão entre o preço total do sistema e o valor da conta de luz do usuário. Para este caso é importante que o valor do kWh, preenchido pelo usuário, esteja preciso.

A implementação desta parte leva em conta a rápida edição e recálculo dos parâmetros considerando novas informações. O usuário pode substituir, por exemplo, a velocidade de vento e/ou o local onde está simulando, e clicar novamente no botão identificado para calcular o sistema. Assim os cálculos são refeitos e os resultados são apresentados a partir dos novos parâmetros.

Esta interatividade foi possível pela forma de implementação em sequência, ou seja, os dados que o usuário fornece são sempre captados (com atributo `getElementById`) para realização de novas funções. Esses dados são tratados como variáveis na organização das funções, entram em equações e/ou condições e formam as respostas

às requisições que chegam a partir do usuário.

Assim como o *script* apresentado para sistemas híbridos, os outros arquivos de novas funções encontram-se em funcionamento para os formulários elaborados em cada aba ou tipo de simulação do aplicativo.

#### 4. SIMULAÇÕES-TESTES

O aplicativo foi implementado e foram realizadas simulações-testes a fim de avaliar seu funcionamento. Os testes incluíram simulações feitas a partir do consumo real de energia elétrica de uma residência no estado do Rio Grande do Sul (classificação B1 - residencial bifásico, tensão 220 V), entre os meses de maio a agosto de 2021. Os dados de *input* no aplicativo foram:

- A. O consumo, em kWh, por mês, para quatro meses (uma simulação por mês);
- B. O preço do kWh em Reais. Foram considerados os valores médios de cada região simulada (região Sul e região Nordeste), com base nos dados da ANEEL (2021);
- C. Velocidade média de vento nos locais simulados, Porto Alegre e Fortaleza (segundo o Atlas Eólico Brasileiro);
- D. Escolha da região da simulação para considerar a Radiação Global Média que irá influenciar na eficiência dos painéis fotovoltaicos.

Foram realizadas quatro simulações para cada região (sul e nordeste) em dois módulos do aplicativo: Energia solar fotovoltaica e Sistema híbrido, que considera conversão por fonte solar fotovoltaica e por turbina eólica de pequeno porte.

Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 3.

**Quadro 3 - Simulações-teste realizadas para duas regiões do Brasil**

	Radiação global média e vel. vento da região	Mês (2021)	Carga consumida (kWh/mês)	Preço kWh (R\$)	Área painéis (m <sup>2</sup> )	Quant. Painéis 1,63 x 0,98cm	Diâmetro turbina (m)	Invest. aproximado (R\$)	Tempo retor investim. (meses)
Energia solar fotovoltaica Painéis de Silício monocristalino	Sul 5,2 kWh/m <sup>2</sup>	Maio	94	0,571	4,27	3	-	3.680,83	61
		Junho	176		8	5	-	6.491,92	65
		Julho	308		14	9	-	9.359,28	52
		Agosto	171		7,77	5	-	6.404,02	64
	<b>Média</b>		<b>187,25</b>	<b>0,571</b>	<b>8,51</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>6.484,01</b>	<b>60</b>
	Nordeste 5,9 kWh/m <sup>2</sup>	Maio	94	0,607	3,77	2	-	3.019,68	62
		Junho	176		7,05	4	-	5.828,00	60
		Julho	308		13,58	9	-	9.682,60	44
Agosto		171	6,85		4	-	5.719,94	59	
<b>Média</b>		<b>187,25</b>	<b>0,607</b>	<b>7,81</b>	<b>5</b>	<b>-</b>	<b>6.062,55</b>	<b>56</b>	
Sistema híbrido: solar fotovoltaica +turbina eólica	Sul 5,2 kWh/m <sup>2</sup> vel.vento 6m/s	Maio	94	0,571	-	1	1	8.148,21	152
		Junho	176		-	4	1	12.289,24	122
		Julho	308		-	4	1,5 a 2	17.024,25	97
		Agosto	171		-	4	1	11.952,25	122
	<b>Média</b>		<b>187,25</b>	<b>0,571</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>12.353,49</b>	<b>123</b>
	Nordeste 5,9 kWh/m <sup>2</sup> vel.vento 6,5m/s	Maio	94	0,607	-	0	1	7.319,00	128
		Junho	176		-	3	1	10.993,64	103
		Julho	308		-	2	1,5 a 2	14.095,39	75
Agosto		171	-		3	1	10.648,44	103	
<b>Média</b>		<b>187,25</b>	<b>0,607</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>10.764,12</b>	<b>102</b>	

A partir dos resultados apresentados no Quadro 3 pode-se verificar que o sistema que considera conversão de energia elétrica por fonte solar fotovoltaica apresenta um retorno financeiro com menor tempo em relação ao sistema híbrido. Verifica-se também que entre todos os cenários simulados, os valores de investimento no sistema de conversão são menores para o de energia solar. Também é possível perceber que um sistema fotovoltaico instalado na região Nordeste do Brasil tem maior eficiência devido à radiação global média mais favorável naquela região.

O sistema híbrido torna-se mais viável a medida em que a velocidade do vento for maior no local da instalação. Para comprovar foram realizadas algumas simulações com as seguintes características:

- i) carga consumida 246 kWh;
- ii) preço do kWh R\$ 0,863;
- iii) radiação global média 5,2 kWh/m<sup>2</sup> e
- vi) velocidade do vento variando entre 7 e 10 m/s.

Tais simulações apresentaram resultados conforme a Figura 6.



Figura 6 - Simulações comparativas para o sistema híbrido

Na Figura 6 é possível notar que o cenário de simulação “D”, com velocidade de vento 10 m/s, apresenta o menor valor de investimento (em R\$) e o menor tempo de retorno financeiro (34 meses). É possível ver também que a simulação “D” considera apenas o gerador eólico no sistema. Isto porque com tal velocidade de vento, a turbina sugerida (com diâmetro do rotor de até 1 m) poderá suprir até 116% da demanda de energia simulada. Com essa configuração não há necessidade do uso de painéis solares no sistema. Além disso o sistema com essas características pode contar com eletricidade excedente, tendo possibilidade de receber créditos de energia se a instalação estiver em local em que a concessionária disponha dessa modalidade.

## 5. RASTREAMENTO E DADOS DE ACESSOS

O aplicativo de simulação SIEólica (PIRES E OLIVEIRA, 2016) foi submetido a um rastreamento com a ferramenta *Google Analytics*. Com isso foram obtidos dados de acessos ao sistema com objetivo de entender como se deu a interação dos usuários.

O aplicativo apresentado neste trabalho foi igualmente rastreado, obtendo no período de 22/12/2017 a 28/02/2021 8287 acessos para realização de simulações. O número de usuários que acessou o sistema foi 1319, perfazendo uma média de 6,3 acessos por usuário. De todos os usuários que acessaram, 94,62% são do Brasil e o restante está dividido entre 20 países, sendo que alguns acessos registram duração zerada, concluindo-se que esse tipo de acesso é feito por robôs. O tempo médio de permanência de cada usuário que acessou o sistema foi de dois minutos e dois segundos, o suficiente para realizar uma simulação completa. Em cada sessão os usuários acessaram uma média de 4,11 páginas, o que considera-se suficiente para obter informações sobre geração distribuída de energia renovável. Todos estes dados, extraídos com auxílio da ferramenta *Google Analytics*, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de acessos ao sistema

País	Usuários	Sessões	Páginas/sessão	Duração média da sessão
Brasil	1.248	1.926	4,17	00:02:05
USA	26	26	1	00:00:00
Portugal	12	18	4,61	00:01:31
Moçambique	6	8	3,89	00:01:02



Tabela 1 - Dados de acessos ao sistema (continuação)

<b>País</b>	<b>Usuários</b>	<b>Sessões</b>	<b>Páginas/ sessão</b>	<b>Duração média da sessão</b>
Alemanha	3	4	3,5	00:00:21
Holanda	3	4	4	00:05:31
Argentina	2	2	6	00:01:49
Austrália	2	2	1	00:00:00
Canadá	2	2	2	00:00:48
Cabo Verde	2	3	3	00:00:15
França	2	2	5	00:00:16
Filipinas	2	2	1,5	00:02:13
Angola	1	1	1	00:00:00
Espanha	1	2	5,5	00:00:51
Reino Unido	1	2	5	00:00:13
Irlanda	1	1	1	00:00:00
Japão	1	1	1	00:00:00
Omã	1	1	2	00:00:23
Peru	1	1	5	00:00:49
Timor-Leste	1	1	1	00:00:00
Uruguai	1	5	1,2	00:00:45
<b>Total</b>	<b>1.319</b>	<b>2.015</b>	<b>4,11</b>	<b>00:02:02</b>

## 6. CONCLUSÕES

O aplicativo de simulação SIEólica, elaborado a partir de uma pesquisa de doutorado, foi o ponto de partida para este trabalho. O produto aqui apresentado foi implementado utilizando os arquivos do simulador de energia eólica daquela pesquisa.

A presente pesquisa objetivou a produção de um sistema de informação para geração distribuída de energia elétrica, elaborado para permitir simulações de sistema de geração com TEPP, painéis fotovoltaicos e sistema híbrido, considerando as duas fontes.

A utilização de uma ferramenta de rastreamento possibilitou obter informações de acessos, demonstrando dados quantitativos em relação à interação de usuários com o sistema.

O aplicativo foi projetado e executado para funcionar *on-line*, com acesso livre e sem cadastro prévio. Essa liberdade de acesso permite um número maior de usuários, garantindo assim o objetivo de divulgar benefícios da geração distribuída de energia elétrica.

Realizaram-se uma série de simulações teste, nas quais foi possível verificar a variedade de possíveis resultados a partir das escolhas disponíveis no aplicativo. Foi possível constatar, através dos testes, que é possível obter retorno financeiro, em prazo aceitável, com o uso de um sistema de geração própria de energia, principalmente no caso do sistema de conversão solar fotovoltaico.

Também foi possível verificar, através do rastreamento do software, que há um interesse público em utilizar sistemas de geração própria de eletricidade. Porém, por mais que haja tal interesse, este ainda necessita ser traduzido em efetivo investimento e uso desse tipo de conversão. Apesar do grande potencial, especialmente o Brasil encontra-se atrás de outros países em termos de uso de energias alternativas e geração distribuída. Este fato corrobora a importância de trabalhos como o que é aqui apresentado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, L. J. Fundamentos de Programação: Algoritmos, estruturas de dados e objetos. AMGH Editora, 2008.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº687 de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 03 jul. 2016.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações de Geração 2020. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Ranking das Tarifas 2021. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>>. Acesso em: 13 set. 2021.

BRASIL, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e Comunicações. Atlas Brasileiro de Energia Solar. Disponível em: <[https://cenariosolar.editorabrasilenergia.com.br/wp-content/uploads/sites/8/2020/11/Atlas\\_Brasileiro\\_Energia\\_Solar\\_2a\\_Edicao\\_compressed.pdf](https://cenariosolar.editorabrasilenergia.com.br/wp-content/uploads/sites/8/2020/11/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_compressed.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2020.

CEEE - Companhia Estadual de Energia Elétrica. Simulador de consumo. Disponível em: <<http://www.cee.com.br/pportal/cee/Component/Controller.aspx?CC=1221>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

ENERGISA. Simulador de consumo. Disponível em: <<http://www.energisa.com.br/Paginas/simulador-de-consumo.aspx>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

ELETRICITY MONTHLY UPDATE. Energy information administration. Resource use: february 2020. Disponível em: <<https://www.eia.gov/electricity/monthly/>> Acesso em: 02 jun. 2021.

FURNAS Centrais Elétricas S.A. Simulador de consumo. Disponível em: <<http://www.furnas.com.br/simulador/index.htm>>. Acesso em: 11 ago. 2016.

GOOGLE. Project Sunroof. Disponível em: <<https://www.google.com/get/sunroof#-p=0>>. Acesso em: 11 ago. 2016.

IDEAL - Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina. Disponível em: <<http://institutoideal.org/>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S.A. Simulador de consumo da Light. Disponível em: <<http://www.light.com.br/pararesidencias/Simuladores/consumo-.aspx>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

PIRES, J. C. P. Proposta de um sistema com aplicativo de simulação na área de energia eólica. 2017, 226 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, curso de pós-graduação em Design.

PIRES, J. C. P.; OLIVERIA, B. F. Oliveira. Sustentabilidade energética: proposta de um simulador de geração distribuída de energia renovável. In: ENSUS, 7. 2019, Florianópolis. Anais do VII Encontro de Sustentabilidade em Projeto. Florianópolis, 2019. p. 270 – 280. v. 7. Disponível em: <[https://drive.google.com/file/d/1f5dcVi36GDdrmGfEFFw\\_ZPkI7960GTkn/view](https://drive.google.com/file/d/1f5dcVi36GDdrmGfEFFw_ZPkI7960GTkn/view)>. Acesso em: 10 jan. 2021.

PIRES, J. C. P.; OLIVERIA, B. F. Sistema de informação para geração de energia eólica. Blucher Design Proceedings 2.9, 2016, pp. 4698-4710. Disponível em: <<https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/sistema-de-informao-para-gerao-de-energia-elica-24640>> Acesso em: 04 abr. 2021.