

## ESTUDO DE ACESSO AO SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA UTILIZANDO MATRIZ ENERGÉTICA FOTOVOLTAICA<sup>1</sup>

***Douglas Antonio Freitas***

Graduando do 10º período do curso de Engenharia Elétrica do UNIPAM.

E-mail: douglasaf@unipam.edu.br

***Márcio Arvelos Moraes***

Professor do curso de Engenharia Elétrica do UNIPAM.

E-mail: marcioam@unipam.edu.br

---

**RESUMO:** O Brasil tem crescido cada vez mais e, se tratando de energia renovável, a energia fotovoltaica tem um grande potencial no país, pois possui um clima favorável. Podemos perceber que a radiação solar é conveniente a este modelo de geração, que possui em média 5.0KWh/m<sup>2</sup>. A geração fotovoltaica tem recebido um incentivo do Ministro de Minas Energia (MME) e, com isso, o estado de minas tem crescido cada vez mais em termos de geração fotovoltaica. O governo vem instigando os seus consumidores a gerar sua própria energia elétrica, através do Programa Geração Distribuída de Energia Elétrica ProGD, que foi consolidado no ano de 2015 pelo MME. O consumidor que conecta o sistema de geração elétrica na rede de distribuição passa pelo processo de acesso da concessionária de sua região, seguindo os protocolos de acesso e período de liberação do acesso. A geração fotovoltaica tem uma grande relevância no quesito aspecto social e ambiental, não degradando o meio ambiente e se tornando uma fonte de energia limpa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fotovoltaico. Geração distribuída. ANELL.

**ABSTRACT:** Brazil has been growing more and more in renewable energy resources, photovoltaic energy has great potential in the country because it has a favorable climate. We can see that solar radiation is convenient for this generation model, which has an average of 5.0KWh/m<sup>2</sup>. Photovoltaic generation has received an incentive from the Minister of Mines and Energy MME, with this the State of Minas Gerais has been growing increasingly in terms of photovoltaic generation, The government has been encouraging its consumers to generate their own electricity through the Program of Distributed Generation of Electric Power ProGD, which was consolidated in the year 2015 by MME. The consumer that connects the electric generation system in the distribution network, passes through the access process of the concessionaire of its region, following the protocols of access and period of access liberation. The photovoltaic generation has a great relevance in the social and environmental aspect, not degrading the environment and becoming a source of clean energy.

**KEYWORDS:** Photovoltaic; Distributedgeneration; ANELL.

---

<sup>1</sup> Trabalho apresentado na área temática 1 - Estudo de acesso ao sistema de geração distribuída utilizando matriz energética fotovoltaica - V Congresso Mineiro de Engenharia e Arquitetura - outubro de 2018.

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema de distribuição, durante muito tempo, baseou-se em uma topologia em que a geração era centralizada e, na maioria das vezes, encontrava-se distante da carga (LUIS, 2012). Dessa forma, o sistema operava sem a presença intermediária de fontes geradoras, configurando um sistema radial, com o objetivo de distribuir energia elétrica de forma econômica, confiável e segura (LUIS, 2012).

Esse cenário de distribuição centralizada vem mudando no Brasil, após a criação de novos agentes no mercado de energia, denominados Produtores Independentes de Energia (PIE) e Autoprodutor de Energia Elétrica (APE), de acordo com a lei das concessões 9075/95 e com o decreto nº 2003 de 10/09/1996. (LUIS, 2012).

Assim, com o acesso de novos agentes no mercado, surgiu uma nova topologia de distribuição de energia elétrica, conhecida como geração distribuída, que configura um modelo no qual há geração de energia realizada em pontos diversos da rede, através de sistemas geradores que ficam localizados na própria unidade consumidora (casas, empresas e indústrias), que é ligada a rede elétrica de distribuição pública. (FONTES, 2018).

Podem-se classificar dois tipos de operação em relação à geração distribuída que leva em consideração a forma de ligação entre concessionária e consumidor. Dessa forma, quando houver uma ligação em paralelo da cogeração com a concessionária denomina-se como geração *on-grid*, caso a cogeração atenda somente o consumidor, sem que haja ligação com a rede de distribuição, denomina-se geração *off-grid*. (NARUTO, 2017).

Do ponto de vista do sistema elétrico, a geração distribuída pode trazer benefícios na qualidade e confiabilidade do suprimento, atendendo à demanda de ponta e funcionando como reserva operativa. Além disso, os esquemas de cogeração podem atender áreas remotas com baixa densidade de carga. (PINHO, 2014).

O Brasil possui uma das tarifas energéticas mais caras do mundo, sobre a qual incidem ainda altas cargas tributárias e valores diferenciados devido à sazonalidade da matriz energética, que acabam deixando o valor da conta de luz elevado, despertando nos consumidores o interesse por investirem em sistemas de cogeração conectados à rede.

Dessa maneira, devido às condições climáticas brasileiras e os incentivos governamentais, o sistema de geração distribuída proveniente da energia fotovoltaica tem se popularizado no país, tornando a fonte de cogeração mais utilizada por consumidores de pequeno porte.

Isto posto, observa-se que boa parte dos consumidores que tem interesse em investir em cogeração fotovoltaica para se desvencilhar parcialmente da sazonalidade e inflações incidentes na tarifa de energia possui dúvidas quanto à forma de restituição do excedente de energia produzido e quais parâmetros a considerar para dimensionar um sistema fotovoltaico.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 MICRO E MINIGERAÇÃO

Conforme a Agencia Nacional de Engenharia Elétrica, a micro e minigeração distribuída representa na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Para efeitos de diferenciação, a microgeração distribuída refere-se a uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW), enquanto que a minigeração distribuída diz respeito às centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 megawatt (MW), para a fonte hídrica, ou 5 MW para as demais fontes.(ANEEL, 2018)

### 2.2 ACESSO À DISTRIBUIÇÃO

Conforme a solicitação de acesso, cada acessante deverá se informar com a concessionária de sua região, onde será informado qual o tipo de geração exemplo: micro ou minigeração distribuída para melhor atender a necessidade do contratante. Portanto, a solicitação terá que ser realizada por meio de um responsável técnico da área com cadastro e situação regular no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia CREA.

Os arquivos necessários para serem anexados junto com o formulário de solicitação são o Diagrama Unifilar Básico – DUB, Memorial descritivo da geração e a Anotação de Responsabilidade Técnica ART.

Portanto, se é minigeração, deverá incluir o projeto elétrico.

O módulo fotovoltaico a ser utilizado, juntamente com o inversor, tem que ser usado um certificado de características. É um número na concessão do Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia- INMETRO.

De acordo com Agência Nacional de Engenharia Elétrica, as distribuidoras locais deverão se adequar e revisar normas técnicas para tratar do acesso de microgeração e minigeração distribuída, utilizando como referencial os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, as normas técnicas brasileiras e, de forma complementar, as normas internacionais. (ANEEL, 2018)

Conforme o formulário de acesso, a central geradora deverá ser caracterizada como micro ou minigeração distribuída. Nestes requisitos são obrigatórias as etapas de solicitação e de parecer de acesso. A solicitação de acesso é o requerimento formulado pelo acessante ou consumidor, que, uma vez entregue à acessada ou distribuidora, requer a prioridade de atendimento, conforme a ordem cronológica de protocolo de cada distribuidora. A solicitação de acesso deve conter o Formulário de Solicitação de Acesso para micro e minigeração distribuída disponível (ANEEL, 2018).

O formulário específico para cada caso deve ser protocolado na distribuidora, acompanhado dos documentos pertinentes, não cabendo à distribuidora solicitar documentos adicionais àqueles indicados nos formulários padronizados. Caso a documentação esteja incompleta, a distribuidora deve recusar o pedido de acesso e

informar o acessante sobre todas as informações pendentes. Então, o acessante realizará uma nova solicitação de acesso após a regularização das pendências identificadas (ANEEL, 2018).

Como resposta à solicitação de acesso, a distribuidora deverá emitir o parecer de acesso, que é um documento formal obrigatório apresentado pela acessada, sem compromisso com o acessante, em que são informadas as condições de acesso e os requisitos técnicos que permitam a conexão das instalações do acessante com os respectivos prazos (ANEEL, 2018).

No caso de obra para atendimento, o parecer de acesso deve também apresentar o orçamento da obra, contendo a memória de cálculo dos custos orçados, do encargo de responsabilidade da distribuidora e da eventual participação financeira do consumidor.

O prazo máximo estabelecido para elaboração do parecer é de 15 dias para microgeração e de 30 dias para minigeração. Esses prazos são dobrados, caso haja necessidade de obras de melhorias ou reforços no sistema de distribuição da concessionária local (ANEEL, 2018).

O procedimento de acesso é simples e rápido, assim como os requisitos de proteção necessários para garantir a segurança das pessoas e a qualidade da energia injetada na rede. Deve-se observar que a distribuidora tem a responsabilidade pela coleta das informações das unidades geradoras junto aos micro e minigeradores distribuídos e pelo envio dos dados à ANEEL para fins de Registro (ANEEL, 2018).

### 2.3 APOIO E INCENTIVO DO GOVERNO NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

De acordo com o Ministro de Minas Energia, o estado de Minas Gerais vem sendo referência para todo o resto do Brasil quando se fala de energia solar FV, com altos índices de irradiação solar e outros fatores que aumentam a rentabilidade dos sistemas fotovoltaicos. Minas Gerais ocupa por anos a liderança nacional na geração distribuída em energia solar, reflexo também de seu governo pró-solar, que acaba de anunciar novo incentivo à tecnologia. (MME, 2015).

Conforme o Ministro de Minas Energia, o ProGD foi desenvolvido para incentivar o consumidor a produzir sua própria energia e reduzir Gastos com a eletricidade. E também houve mudança para as concessionárias de distribuição de energia, que foi consolidada no ano de 2015, após um processo na direção do MME, em que teve uma entrega por 30 anos e sem pagamento de acréscimo de concessão. As distribuidoras deverão cumprir metas de qualidade e de investimento, o que deverá trazer melhorias na geração distribuída, acarretando uma melhor qualidade de energia para o consumidor. (MME, 2015).

Portanto, o governo de Minas aprova a Lei nº22. 866 de 08 de janeiro de 2018, que traz a criação de um fundo para garantir empréstimo e condições vantajosas para pequenas e grandes empresas nas montagens de geradores fotovoltaicos.

O fundo de fomento e desenvolvimento socioeconômico do estado de Minas (Fundese) disponibilizará recursos financeiros para microgeração e minigeração distribuída a serem realizados no Brasil (BUZATTO, 2018).

## 2.4 DIMINUIÇÃO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO NO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O Brasil tem sido cada vez mais significativo no seguimento de geração de energia limpa solar fotovoltaica. Em alguns estados foram implantadas indústrias no seguimento de produção de painéis fotovoltaicos, que levou em uma diminuição significativa. Foi uma grande conquista para o consumidor brasileiro, abrindo um novo caminho de oportunidade e condição de implantar um sistema em sua residência ou até mesmo em um comércio.

O processo de fabricação é muito delicado. A célula fotovoltaica é a vida útil do painel, feito através de um processo físico e químico a luz do sol e transformado em energia elétrica. A célula fotovoltaica significa aproximadamente 60% do valor do painel pronto para ser utilizado. Para que se obtenha uma maior durabilidade no painel são agregados ao processo de produção alguns fatores.

Há uma sequência de como é realizado dentro da indústria. O primeiro passo é realizar a limpeza do vidro, pois, se não for realizado com cuidado e de uma forma correta, pode criar bolhas. O vidro não pode ter gordura porque será colada uma camada de filme no vidro. O segundo passo do processo será a interligação das células. Esse processo é bastante crítico, são chamados de *strings*, onde são interligados com fios de cobre ou alumínio. Na sequência, o terceiro passo traz o sistema de montagem da matriz das células, conhecido também como "*layup*". É o processo de coletar as séries de células fotovoltaicas interconectadas e as posicionar sobre o vidro e o EVA. Esse processo é delicado e precisa ser feito por uma máquina especial para evitar quebrar as células e garantir o perfeito alinhamento delas no painel solar (PORTAL SOLAR, 2018).

De acordo com o passo a passo, o quarto item é realização da interconexão manual ou automatizada. De uma maneira simples, os *strings* de células são soldadas e assim é criada uma ligação elétrica entre elas. O quinto passo é a colocação do EVA sobre a matriz da célula. Assim, o painel está pronto para receber também o sexto item, que é a laminação. Esse processo tem um grande fator na vida útil do painel.

Os passos a seguir são basicamente os últimos ajustes para término no processo de fabricação. Terão, então, os seguintes itens: corte de rebarba, ligação da caixa de junção, molduras de alumínio para proteger a placa, e, por fim, o teste ou inspeção, em que será classificada a eficiência do painel.

Conforme descrito, pode-se chegar a algumas conclusões sobre a diminuição do custo de produção. A principal matéria prima do painel é retirada do silício, ganhando um tratamento, passando por um processo físico e químico, trazendo a célula fotovoltaica com um custo de 60% de todo o painel. O processo produtivo industrial conta com diversos equipamentos modernos e de alto custo, sendo eles importados. Por mais que houve uma diminuição no produto final nos últimos anos, o custo de fabricação é alto (PORTAL SOLAR, 2018).

## 2.5 CONSCIENTIZAÇÃO SOCIAL E AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE ENERGIA LIMPA

A energia solar FV é de grande relevância, se analisados o aspecto social e ambiental de uma geração e quais os cuidados devem ser tomados a respeito. Com a ampliação do uso desse tipo de energia, algumas preocupações são levantadas. Uma

delas é o impacto da energia solar em uma análise de todo o seu ciclo de vida. Outra, de certa forma complementar à primeira, é o fim da vida dos equipamentos de um sistema fotovoltaico.

Ao final de 2016, a estimativa é que o fluxo acumulado de resíduos da indústria solar tenha chegado a 43 500-250 000 toneladas. Isso representa 0,1%-0,6% da massa acumulada de todos os painéis instalados, que atualmente é de 4 milhões de toneladas.

Considerando que a média de vida útil de um painel solar é 30 anos, quantidades de resíduos anuais são esperadas para o começo da década de 2030. Para 2050, espera-se que o número de equipamentos desativados seja quase que equivalente ao de novos produtos instalados. Lidar com o resíduo fotovoltaico será um desafio, mas abre caminho para novas oportunidades de mercado, além de uma iniciativa interessante ao perfil sustentável que os países devem seguir em sua economia nos próximos anos.

### **3 METODOLOGIA**

Este tópico descreve a metodologia utilizada para realizar o estudo de caso de uma unidade consumidora comercial que visa acessar o sistema da geração distribuída com a produção de energia através de um sistema fotovoltaico.

Foi realizado o levantamento da curva de demanda da unidade consumidora comercial. Esse levantamento foi necessário para obter qual o período de maior consumo no dia, devendo mostrar quanto é gasto de energia por mês ou por ano.

Após levantar da curva de demanda, foi realizado o dimensionamento do sistema fotovoltaico para atender às necessidades da UC comercial.

Todos esses métodos citados são conforme as especificações da ANEEL, levando a um melhor resultado e confiabilidade do processo de conexão à rede de distribuição da concessionária local.

### **4 RESULTADOS PARCIAIS**

Foram analisados os dados do Supermercado Lima, que fica localizado no bairro Caramuru, na cidade de Patos de Minas. A área construída é 490m<sup>2</sup> e sua coordenada geográfica latitude: 18º 34' 16.8"S longitude: 46º 31' 30"W. Esses dados foram retirados do site cresesb e são importantes para o estudo de irradiação solar. A região de Patos de Minas tem a capacidade de 5.55 KWh/m<sup>2</sup>.dia, com uma inclinação de 19%. Após a coleta de dados de carga elétrica no Supermercado, foi obtida a potência elétrica de diversas cargas. Observando o quadro 1, podemos analisar que temos cargas que fica ligada por 24h e outras por volta de 16h, por exemplo, as lâmpadas e computadores. Os equipamentos moedor de café e máquina de fatiar têm uma média de 3h ligadas por dia.

**Quadro 1: Cargas elétricas do Supermercado Lima**

Cargas	Unidade	Tensão V	Potência W	Horas Ligado	kwh/mês
Lâmpadas	30	127	200	16h	144
Freezer	3	220	117.5	24h	84.6
Geladeira	4	220	548	24h	394.56
Mesa de frios	2	220	384.1	24h	276.6
Geladeira de frios	1	220	950	24h	684
Balcão de frio	2	220	198	24h	142,56
Moedor de café	1	220	675	3h	486
Maquina de fatiar	1	220	240	3h	172,8
Balança	4	220			0
Computador	8	127	200	16h	144
Impressora	1	127	45	16h	32,4
Refletor	11	220	200	8h	144
<b>Total</b>					<b>1949,76</b>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

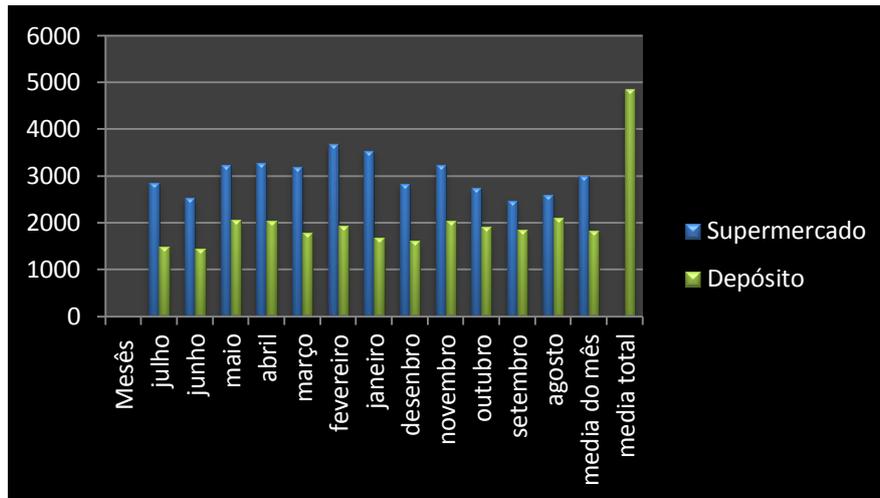
Foram realizados os cálculos do consumo de energia elétrica, tendo base na conta de energia elétrica. A concessionária de distribuição de energia elétrica vigente é a Cemig, conforme os dados coletados da conta de energia elétrica do Supermercado Lima. A UC está sendo alimentada em dois ramais de entrada, sendo o primeiro para a demanda do supermercado, em que estão sendo realizados os cálculos, e o segundo ramal de entrada faz parte do depósito onde está o estoque de produtos do supermercado. O quadro 2 representa o consumo de energia mensal.

**Quadro 2: Consumo mensal UC, 2018**

Meses	Supermercado	Meses	Depósito
Julho	2865	Julho	1505
Junho	2544	Junho	1462
Maio	3238	Maio	2054
Abril	3280	Abril	2044
Março	3200	Março	1806
Fevereiro	3677	Fevereiro	1945
Janeiro	3549	Janeiro	1698
Dezembro	2841	Dezembro	1627
Novembro	3239	Novembro	2049
Outubro	2738	Outubro	1918
Setembro	2485	Setembro	1851
Agosto	2587	Agosto	2100
<b>Média</b>	<b>3020,25</b>	<b>Média</b>	<b>1838,25</b>

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados retirados da conta de energia elétrica gerada pela concessionária Cemig-D (2018).

**Gráfico1: Consumo anual da UC**



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Na conta de luz, energia é a potência de cada equipamento multiplicado pelo número de horas de funcionamento e é dado em KWh. Para se calcular a energia de geração de um sistema fotovoltaico, é necessário entender o consumo de energia diário e mensal. O consumo de energia diário é aquele que está sendo utilizado no decorrer das 24h, sendo medido e armazenado no medidor de energia elétrica. Para que possamos entender melhor o consumo médio mensal, o primeiro passo é coletar os dados dos últimos 12 meses, em seguida a soma total do ano, e, depois, dividir por 12, portanto chegará ao consumo médio  $C_m$

$$C_m = C_t / 12$$

Como pode observar no quadro 2, o valor do consumo médio já foi calculado, então basta escrever o valor para seguir a sequência nos cálculos.

$$C_m = 4858,5 \text{ KWh} - 50 \text{ KWh}$$

$$C_m = 4808,5 \text{ KWh}$$

O valor que foi descontado do consumo médio é chamado de taxa de disponibilidade para rede bifásica.

O consumo diário é simplesmente o valor médio dividido pelos dias do mês

$$C_d = 4808,5 \text{ KWh} / 30 \text{ dias}$$

$$C_d = 160,30 \text{ KWh} / \text{dia}$$

Os dados no quadro 3 foram retirados do site do Cresesb, que são de irradiação solar diária, média e mensal  $\text{KWh/m}^2 \cdot \text{dia}$

**Quadro 3: Cresesb**

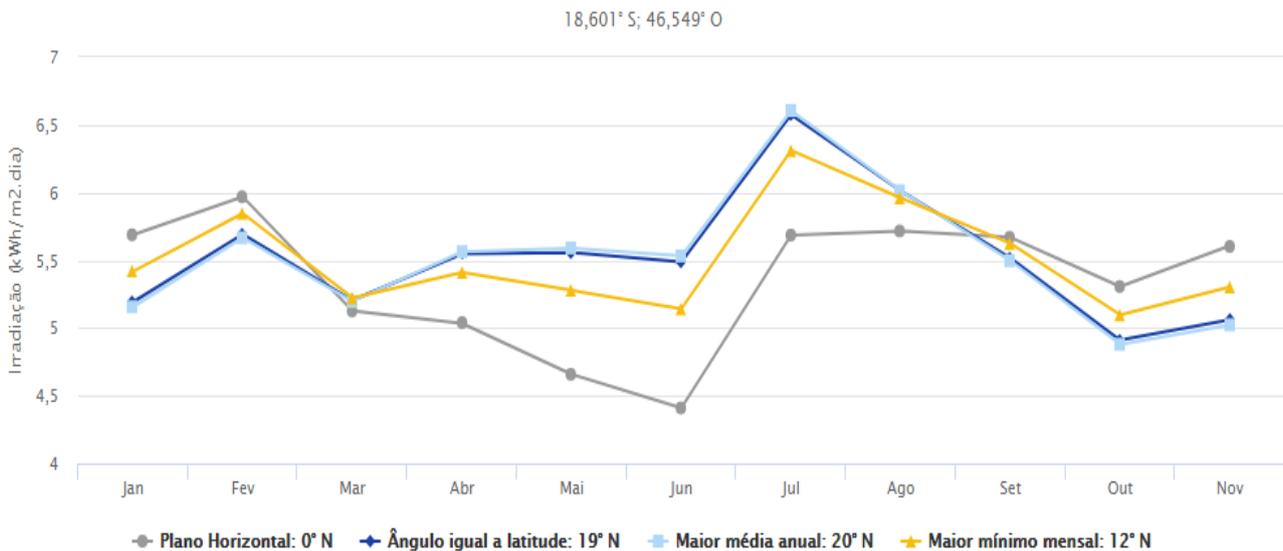
**Cálculo no Plano Inclinado**

**Estação:** Patos de Minas  
**Município:** Patos de Minas , MG - BRASIL  
**Latitude:** 18,601° S  
**Longitude:** 46,549° O  
**Distância do ponto de ref. ( 18,57° S; 46,51° O ):** 5,4 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,69	5,97	5,13	5,03	4,66	4,41	4,72	5,69	5,72	5,67	5,31	5,61	5,30	1,56
✓	Ângulo igual a latitude	19° N	5,19	5,69	5,20	5,55	5,56	5,49	5,80	6,57	6,01	5,52	4,91	5,06	5,55	1,66
✓	Maior média anual	20° N	5,16	5,67	5,20	5,56	5,59	5,53	5,84	6,61	6,01	5,50	4,88	5,02	5,55	1,73
✓	Maior mínimo mensal	12° N	5,42	5,85	5,22	5,41	5,28	5,14	5,46	6,31	5,96	5,62	5,10	5,30	5,51	1,21

Fonte: Site cresesb, 2018

**Gráfico 2: Irradiação da região de Patos de Minas, 2018**



Após a coleta de dados de irradiação solar da cidade de Patos de Minas, chegamos ao valor de 5.55KWh/dia. Para saber os números de horas, os fabricantes de painéis fotovoltaico consideram o valor de 1KWh/m<sup>2</sup>. Este valor é considerado entre o horário de 11h às 13h, em que os painéis fornecem potência nominal. Número de horas é :  $N_h = 5.55KWh / 1K Wh \rightarrow 5.55h$

O cálculo de demanda do sistema:

$$D = Cd/Nh$$

$$D = 160.30KWh/5.55h$$

$$D = 28.88KW$$

Após o cálculo de demanda, serão dimensionados os painéis fotovoltaicos. O painel a ser utilizado é do fabricante Canadian solar, com potência de 330W. De acordo com os dados de demanda e do painel, podemos calcular o número de módulos fotovoltaicos. De acordo com os cálculos do projeto, serão necessários 90

módulos para que se obtenham níveis de tensão e corrente conforme o MPP.  
 $N_m = 28.88 \text{ KW} / 330 \text{ W} \rightarrow = 87.51$

**Quadro 4:** Especificação técnica painel fotovoltaico Canadian

Máxima Potência (Pm):	330 Watts
Tolerância:	0 ~ + 5 Watts
Voltagem de Máxima Potência (Vm) :	37,2 Volts
Corrente de Máxima Potência (Im):	8,88 Amps
Voltagem de Circuito Aberto (Voc):	45,6 Volts
Corrente de Curto-Circuito (Isc):	9,45 Amps
Voltagem Máxima do Sistema:	1000 ts
Eficiência do Painel:	16,97%
Coeficiente de Temperatura da Potência(Pm):	-0,41 %/°C
Coeficiente de Temperatura da Corrente(Isc):	0,053 %/°C
Coeficiente de Temperatura da Voltagem(Voc):	-0,31 %/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	43±2°C

Fonte: Site neosolar, 2018

Serão utilizados 4 inversores, conforme a potência calculada do sistema. O fabricante fronius contém em sua descrição os dados mostrados nos quadros 5 e 6.

**Quadro 5:** Dados entrada do inversor fronius

Quantidade de MPP Tracker	2,0
Corrente máx. de entrada ( $I_{cc \text{ máx}}$ )	18 / 18 A
Corrente máx. de curto-circuito do campo do módulo	27 / 27 A
Faixa de tensão de entrada CC ( $U_{cc \text{ mín}} - U_{cc \text{ máx}}$ )	80 - 1000 V
Alimentação de tensão inicial ( $U_{cc \text{ inicial}}$ )	80,0 V
Tensão nominal de entrada ( $U_{cc,r}$ )	710,0 V
Faixa de tensão MPP ( $U_{mpp \text{ mín}} - U_{mpp \text{ máx}}$ )	270 - 800 V
Faixa de tensão MPP utilizável	80 - 800 V
Quantidade de conexões CC	2 + 2
Potência máxima do gerador fotovoltaico ( $P_{cc \text{ máx}}$ )	12,3 kWpeak

Fonte: Site fronius, 2018

**Quadro 6:** Dados saída do inversor fronius

Potência nominal CA ( $P_{ca,r}$ )	8200,0 W
Potência máx. de saída ( $P_{ca \text{ máx}}$ )	8200,0 VA
Potência máxima de saída ( $I_{ca \text{ nom}}$ )	35,7 A
Acoplamento à rede ( $U_{ca,r}$ )	1~ NPE 220/230 V
Faixa de tensão CA ( $U_{mín} - U_{máx}$ )	180 - 270 V
Frequência ( $f_r$ )	50 / 60 Hz
Faixa de frequência ( $f_{mín} - f_{máx}$ )	45 - 65 Hz
Fator de distorção	< 5 %
Fator de potência ( $\cos \phi_{ca,r}$ )	0,85 - 1 ind./cap.

Fonte: Site fronius, 2018

De acordo com os dados do *datasheet* inversor e dos painéis, será possível calcular o número de *string* e valores de tensão dos painéis em série ou paralelo. Conforme for realizado o arranjo, o nível de tensão deverá ficar na faixa de 270V~800V o ponto, máxima de potência de operação dos painéis fotovoltaico MPPT. A máxima corrente que o inversor suporta é de 18A, portanto o cálculo das *strings* deverá obedecer aos níveis de tensão e corrente para que inversor não seja danificado. O cálculo da *string* será realizado através da expressão, com os valores encontrados nos cálculos acima  $N_m$  número de módulos dividido pelo  $N_{ms}$  número de módulos por *string*.

$$S = N_m / N_{ms}$$

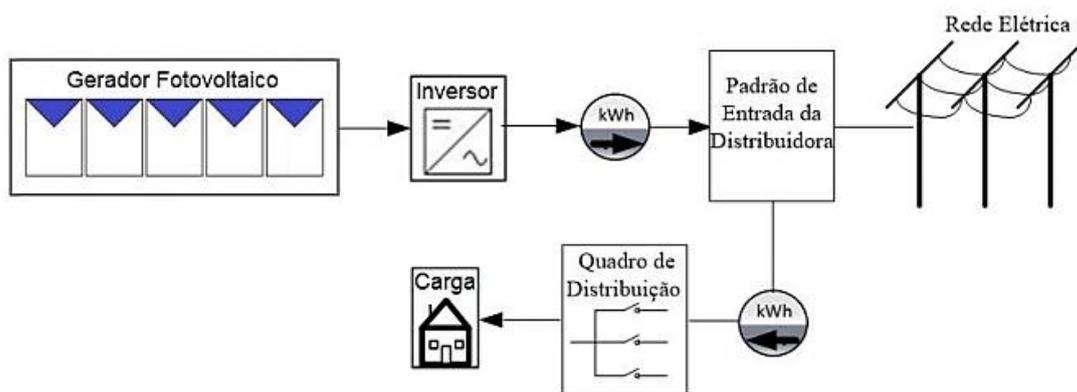
$$S = 90/15$$

$$S = 6$$

O valor do módulo foi arredondado para 90 painéis. Para que o valor possa ser dividido as *strings*, neste arranjo ficará da seguinte maneira: para dois inversores serão ligadas duas *string* de 15 módulos em série, logo em seguida serão ligadas as duas em paralelo, isto para um inversor. Este processo repetirá por mais um inversor; os outros dois inversores serão ligados uma *string* de 20 módulos em série.(FRONIUS, 2018)

As *string* serão compostos por 15 módulos fotovoltaicos, ligados em série. Este esquema de ligação fornecerá uma tensão de 558V e uma corrente de 8.88A. No arranjo final, foram utilizados dois arranjos de 30 módulos, sendo que cada esquema é composto por duas *string* em paralelo. Após ligarmos em paralelo, a tensão de 558V se mantém, a corrente é somada, ficando com 17,86<sup>a</sup>. Em seguida as *strings* de 20 módulos em série ficarão com a tensão de 740V e uma corrente de 8.8<sup>a</sup>. A figura 1 nos mostra o diagrama unifilar de como é o sistema fotovoltaico.(NEOSOLAR, 2018)

**Figura 1** - Sistema de medição simultânea



Fonte: Manual de engenharia fotovoltaica. Indd

#### 4.1 CUSTO DO SISTEMA

O sistema é constituído por 90 módulos de potência 330W. Por painel, o valor é de R\$ 90.765,00. Também serão necessárias 23 estruturas de acomodação dos painéis fotovoltaicos, o valor total da estrutura é R\$ 32.338,00. Serão utilizados 45 conectores macho e 45 conectores fêmea, resultando em um total de 90 conectores - o valor total

de conectores é R\$ 1.980,00. O projeto utilizou 4 inversores da Fronius com potência de 8200W, tendo um custo de R\$ 11.490,00 cada unidade - total R\$ 45.970,00. Também serão utilizados 3 *string* Box, com o valor de R\$ 2.010,00. Os cabos utilizados são os AWG 12 de silicone, preto e vermelho - o valor é de R\$ 39,00 por metro e o sistema utilizará 100 metros. O custo total do material será de R\$ 176.963,00.

O custo com projeto e instalação somou R\$17.693,00, totalizando um valor de R\$194.656,00 para aquisição do sistema.

#### 4.2 VIABILIDADE DO SISTEMA

Com um valor médio mensal de R\$ 4.858,50 na conta de energia, chegamos a uma economia de 90% do valor na conta de luz, economizando R\$ 4.372,65. Sabemos que os painéis fotovoltaicos nos oferecem 15 anos de garantia com potência máxima, caindo a eficiência para 80%, após os 25 anos de utilização. Isso mostra que o sistema é viável, e o cálculo utilizado é bem simples, sem levar em consideração depreciação do dinheiro e outros métodos de reajustes.

O dinheiro investido no sistema pode ser recuperado em até 4 anos, como nos mostra a equação  $meses = \frac{investimento}{economia} \rightarrow = \frac{R\$194.656,00}{R\$4.372,00} = 44,52$  meses. Dividindo este valor por 12 meses chegaremos em 3.7 anos, este período de tempo é o necessário para o investimento se pagar.

#### 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É viável para uma unidade comercial situada na cidade de Patos de Minas o investimento em um sistema de geração de energia fotovoltaica. Percebemos que o cenário de geração, transmissão e distribuição e todos os encargos vigentes pelas concessionárias têm mostrado que a energia elétrica tende a ficar cada vez mais cara. Então, o sistema tendo sua vida útil de 25 anos, com a eficiência de 80%, torna-se atrativo aos consumidores, os quais passarão a micro ou mini geradores de energia elétrica. A taxa de radiação solar diária na região de Patos de Minas fica próxima aos 5.55 Wh/m<sup>2</sup>/dia, trazendo um cenário muito favorável à utilização da energia solar fotovoltaica.

No ano de 2012, a ANELL deu um grande passo. Com a normativa nº 482, abriram-se as portas para investimentos em fontes renováveis, através da mini e micro geração, transformando aquisição de um sistema de energia renovável acessível para conectar o sistema *grid tie* ou *on grid* junto a rede de distribuição da concessionária vigente de sua localidade. (FAEDO, 2014)

O sistema de compensação de energia é aquele em que o consumidor gera sua própria energia elétrica, conectando na rede de distribuição. Se o consumidor gerar mais energia elétrica do que consome, o mesmo será recompensado em forma de crédito com a concessionária, crédito acumulativo, com até 60 meses para ser utilizado pelo consumidor.

No Brasil temos um grande potencial para sistema de energia fotovoltaico, melhorando e diversificando a matriz energética nacional através de fontes de energia sustentáveis.

O custo de um sistema fotovoltaico ainda apresenta um elevado preço no mercado, visto que a maior parte dos equipamentos são fabricados fora do Brasil. Existem fabricantes nacionais, mas ainda não têm um preço competitivo, comparados com os equipamentos importados com a mesma qualidade.

O sistema tem como vantagem um baixo índice de impacto ambiental, deixando um futuro melhor para a sociedade, comparado com outras fontes de energia elétrica não renováveis.

## REFERÊNCIAS

ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL . **Consumo**. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par1\\_cap2.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf). Acessado em: 01 jul. 2018.

BUZATTO, V. H. (2018). **Sun volt**. Disponível em: <http://www.sunvoltenergiasolar.com.br/minas-gerais-aprova-lei-para-financiamento-de-energia-solar/>. Acesso em: 09 jul. 2018.

FAEDO, Alessandro. **Viabilidade de um Sistema de Energia Fotovoltaica Residencial Ligado a Rede**. 2014. 14 f. Tese (Pós-graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/produtos>. Acesso em: 30 out. 2018.

FONTES, Ruy. **Geração Distribuída da ANEEL Avança com Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <http://blog.bluesol.com.br/geração-distribuida-da-aneel>. Acesso em: 10 maio 2018.

LUIS, Cecília Martins. **Avaliação do Impactos da Geração Distribuída para Proteção do sistema Elétrico**. 2012. 136 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

MME (2015). **Brasil lança Programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar**. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030). Acesso em: 03 maio 2018.

NARUTO, Denise Tieko. **Vantagens e desvantagens da geração distribuída e estudo de caso de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede distribuição**. 2017. 84 f. Tese (Tcc) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

NEOSOLAR. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/>. Acessado em: 30 out. 2018.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio (Org.). **Manual de Engenharia Fotovoltaica**. Rio de Janeiro: Atualizada e Revisada, 2014. 529 p.

PORTAL SOLAR. **Inversor-grid-tie**. Disponível em:  
<https://www.portalsolar.com.br/inversor-grid-tie.html>. Acessado em: 07 jul. 2018.

PORTAL SOLAR. **Tipos de painel solar fotovoltaico**. Disponível em:  
<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acessado em: 05 jul. 2018.

PORTAL SOLAR. **Passo a passo da fabricação do painel solar**. Disponível em:  
<https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>.  
Acessado em: 05 jul. 2018.