



**GRUPO -14**

**GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DA GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA- GET**

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE MICRORREDES EM COMPARAÇÃO A REDE  
ISOLADA E CONVENCIONAL EM UMA ZONA RURAL**

**Eduardo Possebon Sauer(\*)**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**

**Daniel Pinheiro Bernardon**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**

**RESUMO**

O artigo apresenta a análise técnica e econômica para o atendimento de cargas residenciais, com diferentes demandas e situadas na zona rural, com a utilização de microrredes que podem trabalhar isoladas ou conectadas a rede convencional de energia elétrica. Diferentes fontes de geração distribuída serão avaliadas através do software de simulação HOMER Energy. Posteriormente, o software de simulação ViPOR (The Village Power Optimization Model for Renewables), otimiza e mescla a geração centralizada e isolada, escolhe o posicionamento ideal do sistema de potência, determina a posição ótima dos transformadores e projeta a rede ideal de distribuição.

**PALAVRAS-CHAVE**

Microrredes, Área Rural, ViPOR, HOMER

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A cada ano que se passa, o consumo e a quantidade de energia demandadas aumentam, e, os recursos fósseis disponíveis vão diminuindo. Diante disso, se faz necessário gerenciar com eficiência e qualidade fontes de geração distribuída que atendam cargas localmente e que se adaptem as variações das cargas consumidoras, é aí que surge o conceito de microrrede. A microrrede é um conjunto localizado de fontes de energia e cargas que operam normalmente conectadas e sincronizadas e de forma controlada, com a rede convencional, mas que podem se desconectar e funcionar de forma autônoma conforme as condições físicas e econômicas exigirem.

Estas fontes de energia geram energia normalmente junto ou próxima das cargas a serem atendidas, sem necessitar ter uma potência ou tecnologia em específico, sendo que desta forma, reduz as perdas e gastos, uma vez que a energia não precisa percorrer um longo caminho, este, dependente de uma boa infraestrutura. Com o auxílio de dois softwares: HOMER Energy e ViPOR (The Village Power Optimization Model for Renewables) podemos avaliar técnica e economicamente as microrredes, que é o objetivo deste trabalho.

**2.0 - HOMER**

O software HOMER foi concebido para melhorar projetos e análises para o sistema de microrredes. É um software que nos fornece o preço da energia em R\$/kWh (ou outra unidade monetária de nossa escolha), e o custo total do projeto realizado nele é fornecido em valor presente líquido para o período de vida do estipulado para o projeto. As cargas elétricas que serão utilizadas para o estudo apresentarão um perfil diário para consumidores de baixa tensão, este perfil será o mesmo utilizado para os 3 tipos de cargas residenciais, ver Figura 1. Foram consideradas 3 tipos de carga residencial com consumo médio de 12, 24 e 48 kWh/dia para a análise.

Todas as fontes que foram simuladas no software HOMER, receberam o mesmo perfil de carga, com os mesmos parâmetros para a sua simulação e obtenção do preço por kW da energia para cada fonte no período simulado, que foi de vinte anos. Uma taxa de juros de 6% a.a. e adicionados as configurações econômicas do HOMER. Os custos em valor presente obtidos pelo HOMER posteriormente foram inseridos no VIPOR.

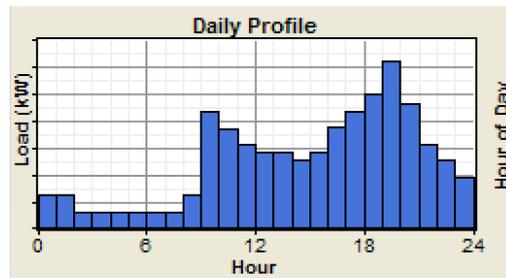


FIGURA 1 - Perfil das cargas definidas para a simulação

## 2.1 Rede Convencional

Como já mencionado, foram consideradas 3 residências padrão com demandas média no valor de 12 kWh/dia, 24 kWh/dia e 48 kWh/dia para as simulações. A Figura 2 demonstra o arranjo da fonte energética e das cargas para a simulação no HOMER, para o caso da carga ligada a rede convencional de energia elétrica proveniente da concessionária. O preço em valor presente líquido para as fontes (de 12, 24 e 48 kWh/dia) são de R\$ 16.839,00, R\$33.678,00 e R\$67.215,00 respectivamente.

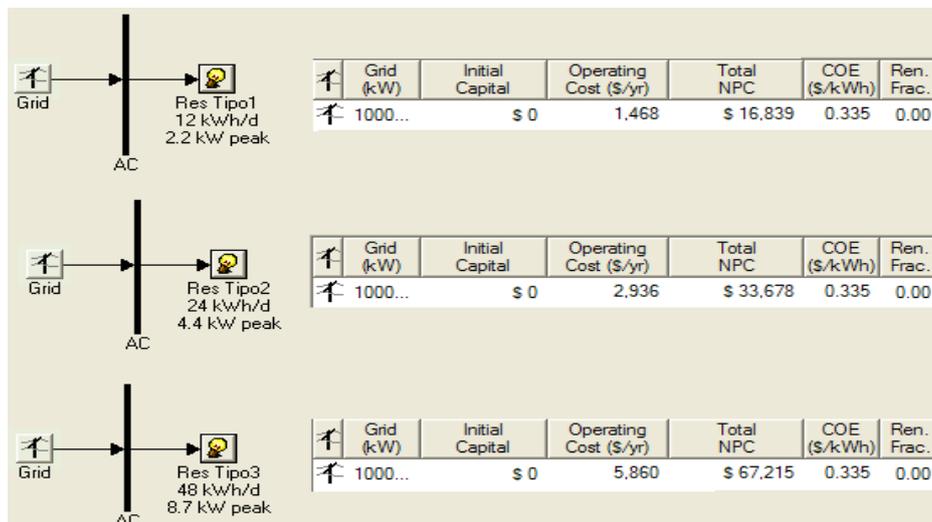


FIGURA 2 - Arranjo da simulação para a carga conectada à rede convencional de energia elétrica

De acordo com a tarifa de energia praticada pela RGE Sul em 20 de fevereiro de 2017, para consumidores rurais e desconsiderando as bandeiras tarifárias, o valor cobrado é de 0,335180 R\$/kWh. O tempo de vida do projeto foi de 20 anos e a taxa real de juros é de 6% a.a. , estes valores foram aplicados a todas as simulações no HOMER e também no VIPOR.

## 2.2 Fonte de Geração Isolada

O arranjo entre a fonte energética isolada da rede elétrica, composta por painéis fotovoltaicos, conversores e baterias estacionárias. Foram consideradas as mesmas 3 residências padrão para as simulações. O preço em valor presente para a carga "Res Tipo1" simulada para a fonte de geração isolada é de R\$ 111.733,00. O VPL (valor presente líquido) para "Res Tipo2" é de R\$228.416,00 e o VPL para "Res Tipo3" é de R\$434.419,00, ver Figura 3.

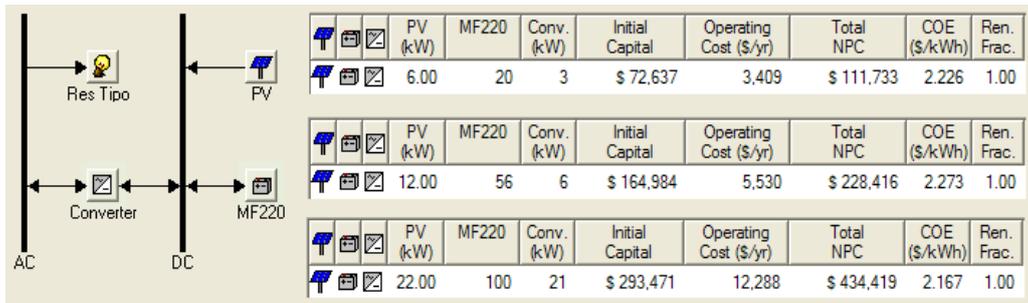


FIGURA 3 - Arranjo da simulação para a fonte isolada

Na parametrização dos sistemas de painéis fotovoltaicos, o HOMER permite que o índice de radiação solar para a área definida seja obtido através da inserção das coordenadas geográficas do local, com isto fornece a média da insolação ao longo dos meses do ano para a região do estudo, obtendo estes dados através de informações fornecidas pela NASA. O índice de insolação definido para a simulação da fonte isolada foi o da cidade de Santa Maria (RS), e suas coordenadas geográficas foram adicionadas ao software, ver Figura 4.

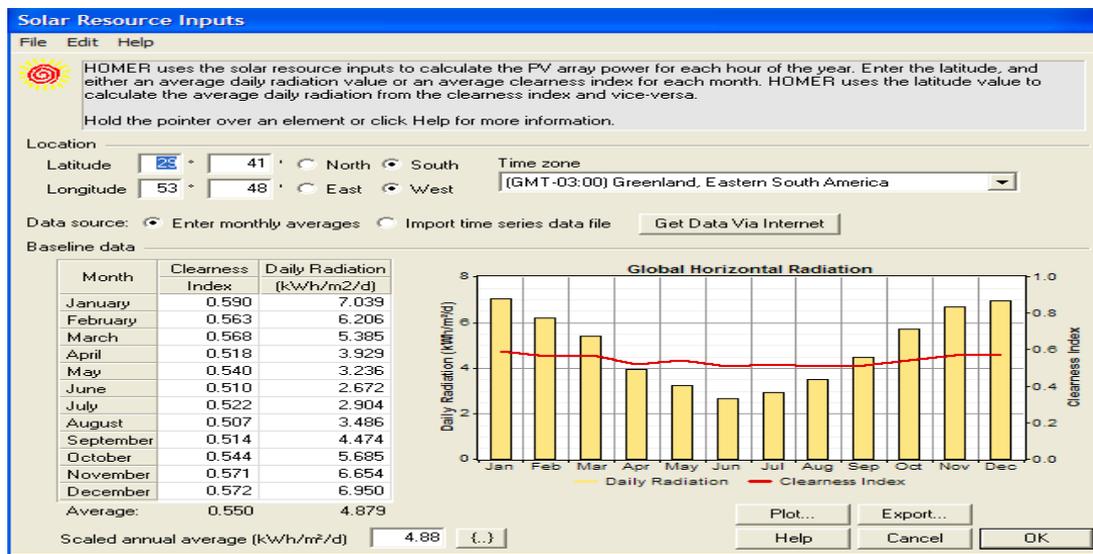


FIGURA 4 - Índice de irradiação média para a cidade de Santa Maria

### 2.3 Fonte de Geração Centralizada

O modelo de geração centralizada de biomassa e de gerador a diesel utilizados para a simulação no HOMER foram estipulados para que se pudesse ter uma situação mais próxima do cenário real, ver Figura 5.

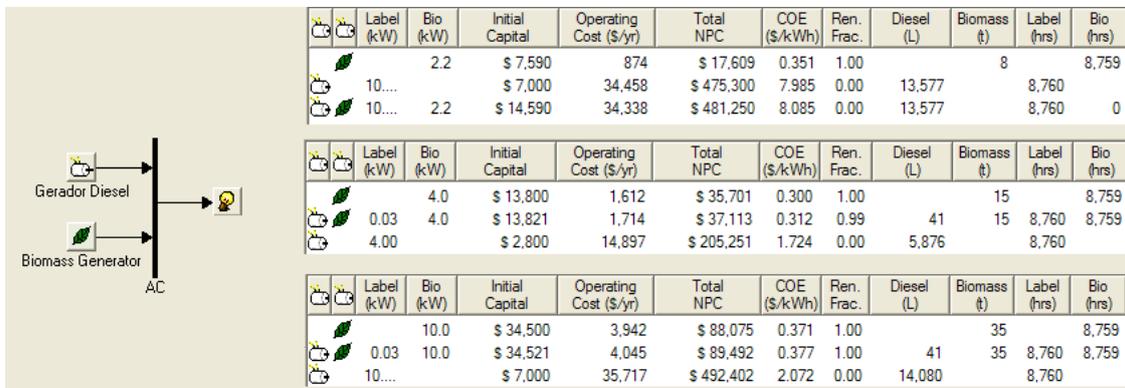


FIGURA 5 - Arranjo da simulação para a fonte de biomassa

Como nos 3 tipos de cargas residencias os custos do gerador diesel foram muito mais caros que o gerador a biomassa, descartou-se o gerador a diesel da geração centralizada. Para a composição do sistema de geração centralizada de biogás, foi considerado que para a alimentação do biodigestor, tem-se uma fonte de produção de combustível sem custos de aquisição da matéria prima, portanto sem custos para o seu abastecimento, sendo considerado apenas o custo do transporte do material necessário para manter a fonte de geração em funcionamento, por ser uma simulação que está avaliando uma área rural, leva-se em consideração o fato de existir fontes para obtenção de combustíveis próximas, como por exemplo o bagaço da cana de açúcar ou estrume do gado.

O biodigestor foi configurado para funcionar no modo otimizado, modo onde o HOMER define a situação ótima em que o gerador irá funcionar para obter um melhor aproveitamento do biogás. O valor estipulado do frete para o transporte é R\$ 40,00 por tonelada e também a quantidade de produto disponível ao longo do ano é de 800 kg por dia(quantidade para que possa estar sempre produzindo).

### 3.0 – VIPOR

O software VIPOR é um modelo de otimização para a concepção de sistemas de eletrificação para locais isolados. Este software define a solução ótima para a melhor configuração de atendimento e topologia (traçado da rede) de média e de baixa tensão e também o local dos transformadores de baixa e média tensão. Ele possui 3 tipos de soluções: centralizada, mista e isolada. A solução centralizada tem a utilização da rede convencional e/ou da fonte de geração distribuída(não isolada). A solução isolada tem seus cálculos feitos apenas com base na fonte de geração distribuída isolada e, por fim, a solução mista que abrange o uso individual ou conjunto da rede e/ou fontes isoladas ou não. Todo o cálculo realizado pelo ViPOR, se dá com base nos valores presentes líquidos que foram calculados anteriormente pelo software HOMER.

#### 3.1 O Software ViPOR

A Figura 6 ilustra o software ViPOR e a disposição dos componentes que vão ser simulados. Para fins de simulação, foram definidos os tipos e cores para cada item inserido na tela principal do software. Os círculos em verde, amarelo e laranja representam as cargas das residências, que são dispostas manualmente no terreno, os triângulos representam as cargas centralizadas, neste exemplo o triângulo azul define a entrada da fonte convencional proveniente da rede elétrica e o triângulo vermelho simboliza a fonte de geração de biomassa. As linhas de distribuição são representadas por duas cores. A de cor vermelha simboliza a rede de média tensão, e a de cor azul simboliza a rede de baixa tensão. Os círculos em vermelho ao longo das linhas representam os transformadores de distribuição e suas localizações são definidas pelo software Vipor.

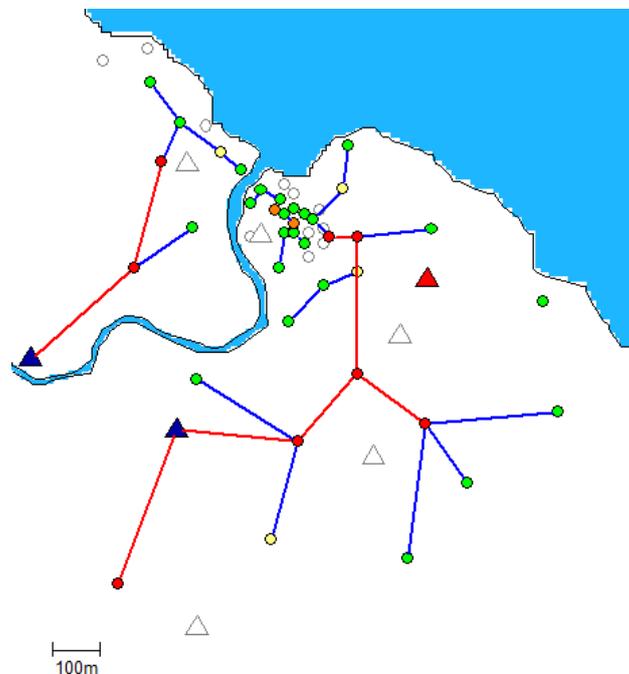


FIGURA 6 - Software ViPOR

### 3.2 Entradas

#### 3.2.1 Cargas

A primeira entrada de valores necessária para a simulação no ViPORA é relativa a carga para cada estabelecimento. Foram adicionados 3 tipos de cargas residenciais, com consumos de 12, 24 e 48 kWh/dia. Ressalta-se que este foi o valor de cargas simulado no HOMER para obtenção dos valores unitários de geração de energia das três modalidades de fonte. Apesar deste trabalho usar apenas cargas residencial, o software permite a inserção de diferentes tipos de carga, ver Figura 7.

Type	Description	Color	On-Grid		Off-Grid	
			Load (kWh/d)	Fee (\$/month)	Load (kWh/d)	Fee (\$/month)
0	Res Tipo1	...	12.000	0.00	12.000	0.00
1	Res Tipo2	...	24.000	0.00	24.000	0.00
2	Res Tipo3	...	48.000	0.00	48.000	0.00
3		...	0.000	0.00	0.000	0.00
4		...	0.000	0.00	0.000	0.00
5		...	0.000	0.00	0.000	0.00

FIGURA 7 - Distribuição das cargas

#### 3.2.2 Rede

Define-se os custos para a linha de baixa tensão, este valor é considerado em reais por metro (R\$/m). Para a linha de média tensão tem-se as mesmas definições de entrada para a inserção dos valores dos custos. Pode-se definir a restrição para o comprimento máximo da linha, como o foco do estudo concentra-se na área rural, foi estipulado em 300 metros o comprimento máximo da linha para a composição da rede elétrica. Também é necessário informar o custo da operação e manutenção que é dada em porcentagem do capital por ano e ainda o tempo de vida para as linhas de baixa e média tensão. Estes valores foram obtidos através de informações fornecidas por profissionais que atuam no mercado de distribuição de energia.

#### 3.2.3 Fontes

O preço da energia em valor presente para cada fonte adicionada ao software ViPORA pode ser obtida através de simulações no software HOMER. Ver Figuras 8, 9 e 10, que mostram as respectivas entradas para os custos de geração de cada fonte para a carga de perfil residencial unitária no período estipulado para análise. O ViPORA permite que seja adicionado um ou mais valores para cada fonte de geração, pois ele faz uma relação de proporção com o número de cargas adicionadas na simulação. Importante salientar que o programa não permite que a simulação seja realizada sem a adição de pelo menos uma fonte isolada para comparação.

	Load	Net Present Cost	Capital Cost	Annualized Capital Cost	O&M Cost	Fuel Cost
	(kWh/d)	(\$)	(\$)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
1	12.000	17,609.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	24.000	35,701.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	48.000	88,075.00	0.00	0.00	0.00	0.00

FIGURA 8 - Custos da fonte de biomassa centralizada

Source Types

Select Type: **Isolated** [New] [Delete]

Index: **0** Description: **Isolated**

Generation Cost Data:

	Load	Net Present	Capital	Annualized	O&M	Fuel	
	(kWh/d)	Cost	Cost	Capital	Cost	Cost	
		(\$)	(\$)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	
1	12.000	111,733.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2	24.000	228,416.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
3	48.000	434,419.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

[Import] [Plot...]

FIGURA 9 - Custos da Fonte isolada

Source Types

Select Type: **Rede Convencional** [New] [Delete]

Index: **2** Description: **Rede Convencional** Color: **Blue** [...]

Generation Cost Data:

	Load	Net Present	Capital	Annualized	O&M	Fuel	
	(kWh/d)	Cost	Cost	Capital	Cost	Cost	
		(\$)	(\$)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	
1	12.000	16,839.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2	24.000	33,678.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
3	48.000	67,215.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

[Import] [Plot...]

FIGURA 10 - Custos para a rede convencional

### 3.2.4 Terreno

O ViPOR permite a definição do tipo de terreno para a simulação e para cada tipo de terreno é inserido um multiplicador que irá influenciar no preço de construção da rede elétrica, os valores dos multiplicadores foram obtidos através de consultas a profissionais do setor de transmissão de energia elétrica. Ver Figura 11, que define alguns exemplos de terrenos e seus multiplicadores, que podem ser usados para as simulações.

Type	Description	Color	Multiplier	
0	Grass		1.500	[New]
1	Forest		4.000	[Delete]
2	Water		500.000	
3	Road		1.000	

[Cancel] [OK]

FIGURA 11 - Definição para o tipo de terreno

### 3.3 Solução do ViPOR

Foram simuladas trinta e oito cargas residenciais de diferentes demandas, dispostas manualmente ao longo do mapa. Para a composição da área de simulação, foram utilizados dois tipos de terreno, o de cor branca simboliza o gramado enquanto o de cor azul simboliza a água. Como mencionado anteriormente, cada terreno tem um fator de multiplicação que influencia no custo total para a composição da topologia de rede, para o gramado o fator de

multiplicação é de 1,5, que foi tomado como referência do software enquanto para água o fator de multiplicação é de 500, devido a largura do rio. Para esta análise, o software ViPOR considerou que a melhor topologia de rede para esta configuração de cargas e fontes, é a configuração de cargas de origem centralizada, onde as fontes que suprem as cargas, provém dos triângulos. O triângulo azul representa a configuração de rede convencional enquanto o triângulo vermelho representa a fonte de geração centralizada de biomassa. A Tabela I relaciona os custos de implantação para os três tipos de configuração de resposta que o software Vipor fornece para a implantação de rede, tanto para o sistema centralizado como para o sistema misto, ou o uso de cargas isoladas.

TABELA 1 - Relação entre os custos das fontes

Tipo de fonte	Custo de instalação
Centralizada	R\$ 1.145.314,00
Mista	R\$ 1.224.888,00
Isolada	R\$ 5.797.327,00

A Figura 12 representa a resposta com menor custo de instalação para atender as trinta e oito cargas residenciais dispostas no mapa. Esta configuração de respostas definiu que são necessários o uso dos dois pontos de rede convencional.

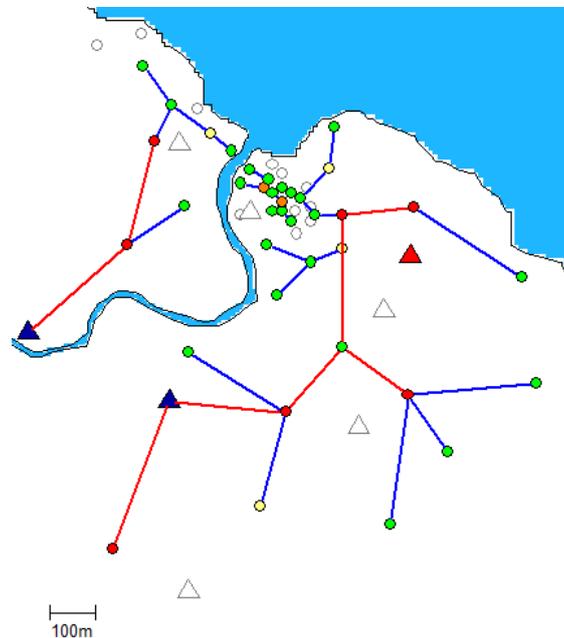


FIGURA 12 - Fonte Centralizada

Como pode ser visto na Figura 13, a carga total para as trinta e oito residências atendidas pelas fontes é de 624 kWh/dia, faz-se necessário o uso de sete transformadores de distribuição ao longo da rede. O comprimento da rede de baixa tensão é de 3.166 metros e o comprimento da rede de média tensão é de 1.976 metros, lembrando que a linha vermelha representa a rede de média tensão, enquanto a linha azul representa a rede de baixa tensão.

Centralized Loads:	<input type="text" value="38"/>	Total Centralized Load:	<input type="text" value="624.0"/> kWh/d
Isolated Loads:	<input type="text" value="0"/>	Total Isolated Load:	<input type="text" value="0.0"/> kWh/d
LV Line Length:	<input type="text" value="3,166"/> m	No. of Transformers:	<input type="text" value="7"/>
MV Line Length:	<input type="text" value="1,976"/> m	Max. Transformer Load:	<input type="text" value="336.0"/> kWh/d

FIGURA 13 - Dados de simulação para o sistema centralizado

A Figura 14 nos traz a proporção que cada montagem custa, visivelmente a isolada utilizando painéis fotovoltaicos está longe de chegar a ser a melhor alternativa.

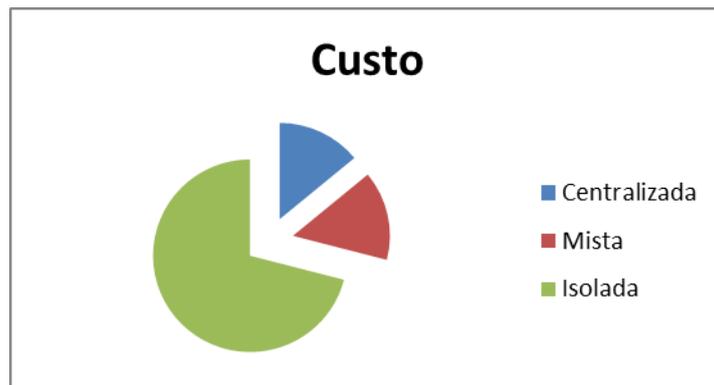


FIGURA 14 - Proporção entre os custos das modalidades

#### 4.0 – CONCLUSÃO

A implantação de fontes alternativas de geração de energia, ainda precisa ser bem mais difundida e utilizada. Alguns pontos prejudicam a implantação das mesmas, como por exemplo, o alto custo de instalação e dificuldade de acesso dos consumidores quando se tem um obstáculo como um rio a ser enfrentado. Ao avaliar o estudo de caso proposto, verifica-se a grande quantidade de fatores que influenciam na escolha da fonte geradora de energia que melhor atenda cada perfil de carga localizada em uma região.

No estudo, a resposta para a simulação que se apresentou de forma mais viável foi a de geração centralizada de energia, pois as fontes geradoras centralizadas situam-se a uma distância relativamente próxima das cargas. Fator este que praticamente exclui a instalação de uma fonte isolada do ponto de vista financeiro, pois a fonte de geração isolada tem o custo de instalação mais caro entre as três fontes analisadas.

#### 5.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BERKELEY LAB. (2017). Microgrids at Berkeley Lab. U.S. Department of Energy. Estados Unidos.
- (2) GILMAN, P. (2004). Getting Started Guide Overview. Input Windows Reference. Estados Unidos.
- (3) RGE SUL. (2017). Tarifas, Taxas e Tributos. Disponível em: < <https://www.rgesul.com.br/clientes-residenciais-comerciais/Paginas/informacoes/tarifas-taxas-tributos.aspx>>. Brasil.

#### 6.0 – DADOS BIOGRÁFICOS



**Eduardo Possebon Sauer** nasceu em Santo Ângelo, Rio Grande do Sul, Brasil, em 05 de julho de 1990. Possui graduação (2015) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria. É mestrando da Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência. Suas áreas de interesse: redes elétricas inteligentes, modelagem e otimização de sistemas, operação e planejamento de redes de distribuição.



**Daniel Pinheiro Bernardon** nasceu em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, em 15 de setembro de 1977. Possui graduação (2000), mestrado (2004) e doutorado (2007) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria. É professor da Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência. Suas áreas de interesse: redes elétricas inteligentes, modelagem e otimização de sistemas, operação e planejamento de redes de distribuição. Também atuou dez anos no setor elétrico, trabalhando nas concessionárias de energia elétrica RGE e AES Sul.