



XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

CB/GET/24

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

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.

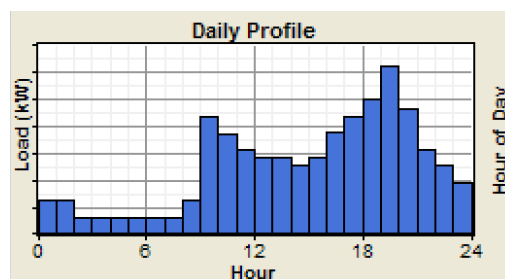


FIGURA 1 - Perfil das cargas definidas para a simulação

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.

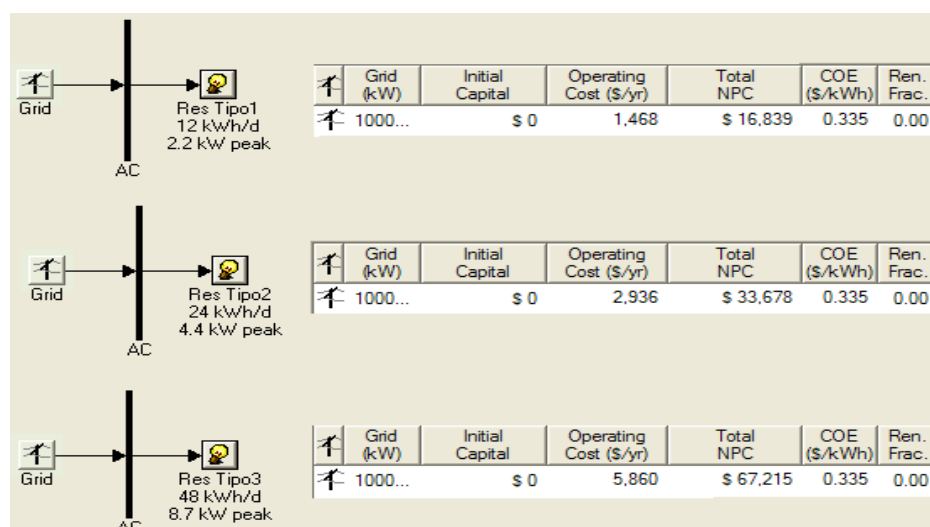


FIGURA 2 - Arranjo da simulação para a carga conectada à rede convencional de energia elétrica

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.

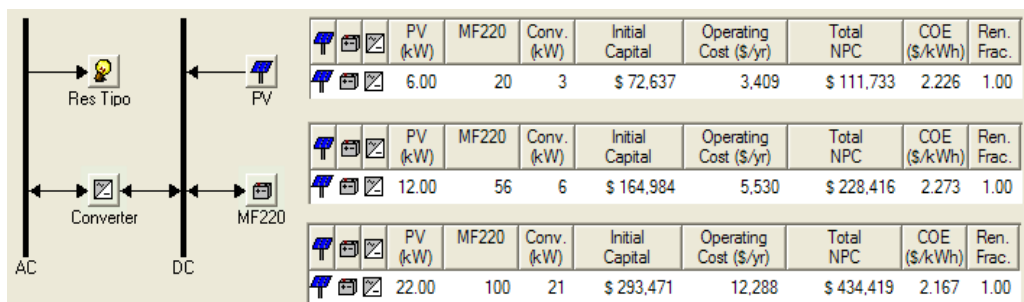


FIGURA 3 - Arranjo da simulação para a fonte isolada

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.

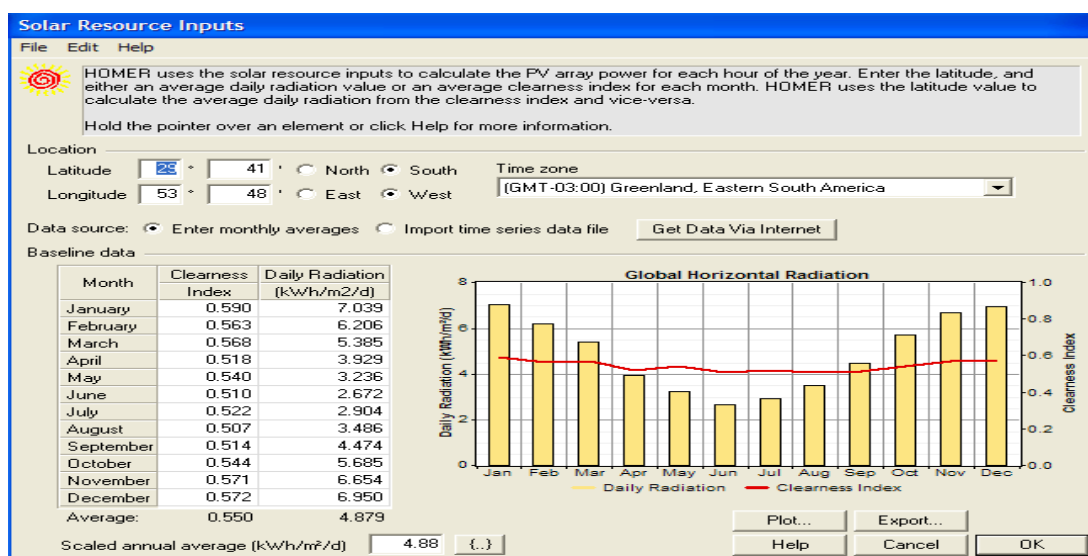


FIGURA 4 - Índice de irradiação média para a cidade de Santa Maria

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.

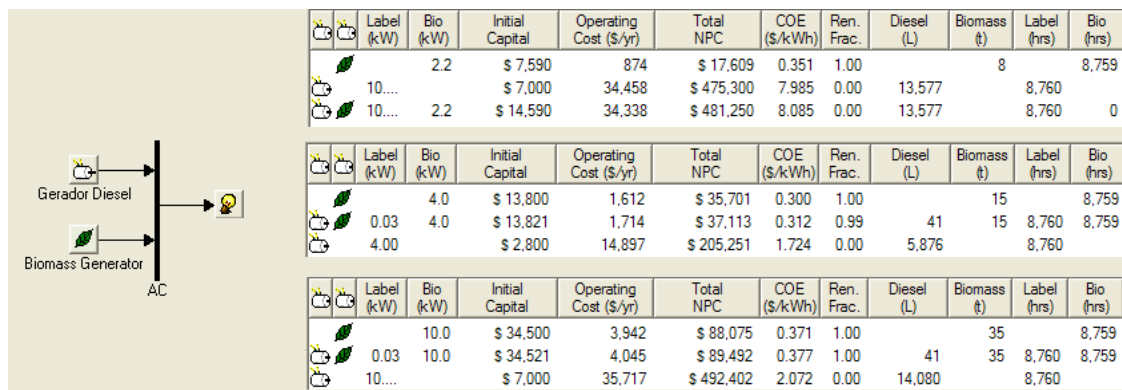


FIGURA 5 - Arranjo da simulação para a fonte de biomassa

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.

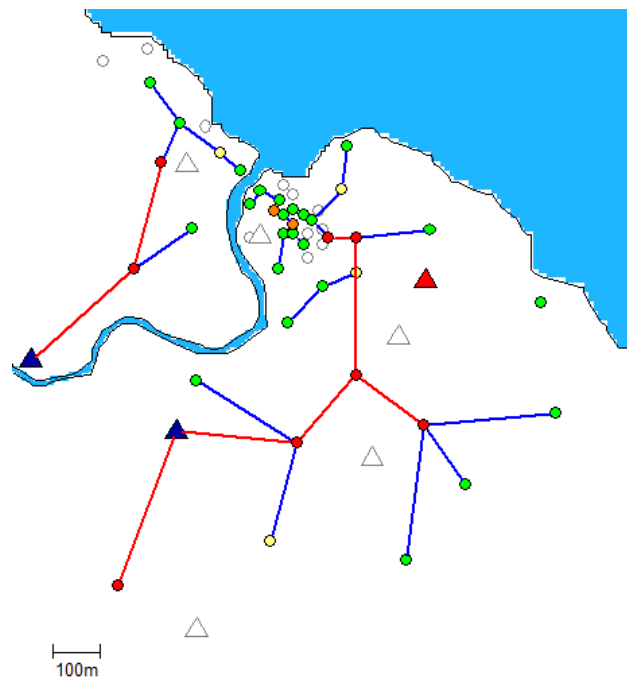


FIGURA 6 - Software ViPOR

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 (kWh/d)	Net Present	Capital	Annualized	O&M	Fuel
		Cost (\$)	Cost (\$)	Capital (\$/yr)	Cost (\$/yr)	Cost (\$/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**

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

Generation Cost Data:

	Load	Net Present	Capital	Annualized	O&M	Fuel	
		Cost	Cost	Capital	Cost	Cost	
	(kWh/d)	(\$)	(\$)	(\$/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	

FIGURA 9 - Custos da Fonte isolada

Source Types

Select Type: **Rede Convencional**

Index: **2** Description: **Rede Convencional** Color: **Blue**

Generation Cost Data:

	Load	Net Present	Capital	Annualized	O&M	Fuel	
		Cost	Cost	Capital	Cost	Cost	
	(kWh/d)	(\$)	(\$)	(\$/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	

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	New
0	Grass		1.500	Delete
1	Forest		4.000	
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.

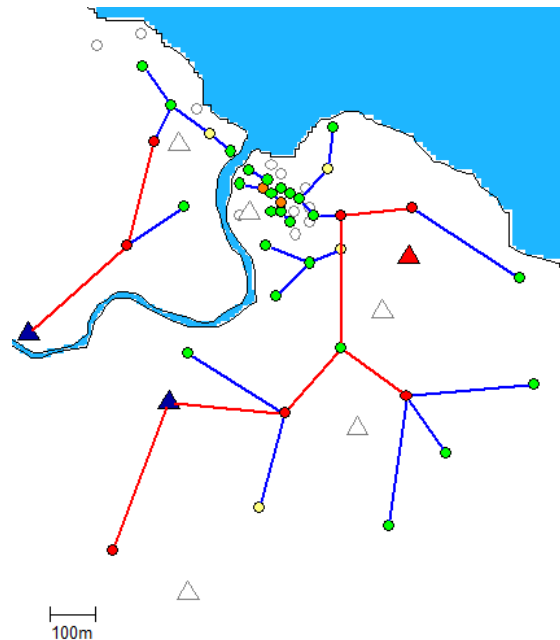


FIGURA 12 - Fonte Centralizada

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:	38	Total Centralized Load:	624.0 kWh/d
Isolated Loads:	0	Total Isolated Load:	0.0 kWh/d
LV Line Length:	3,166 m	No. of Transformers:	7
MV Line Length:	1,976 m	Max. Transformer Load:	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.

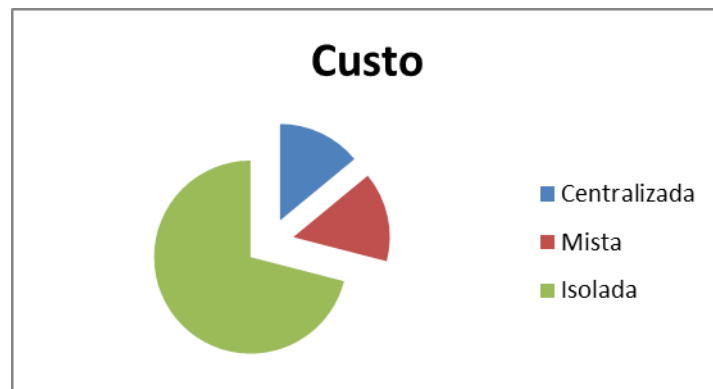


FIGURA 14 - Proporção entre os custos das modalidades

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.