

Estudo de Planejamento Energético com inserção de GD sobre um sistema IEEE-9

Émerson Rafael da Silva*. Robson Porsch Delavechia*.
Mauro dos Santos Ortiz*. Diego Dorneles Goulart*. Daniel Pinheiro Bernardon *

*Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência / Universidade Federal de Santa Maria,
Santa Maria, Brasil (e-mail: emerson.rafaeldasilva@gmail.com).

Abstract: This article aims to evaluate a better solution for a generation-load dispatch, in which, amid this scenario, the presence of distributed generation systems for greater diversification of the energy matrix has been the focus for the development of new options supply. Therefore, a study was carried out in certain situations to determine the best option for handling loads, considering the natural sources available, the cost, the distance from the distribution network and the need for energy storage. In this sense, this work presents an analysis of energy planning in an IEEE 9 bus system. This study aims to verify the best economic solution on a 10-year horizon. To this end, an optimization tool was used as an aid in the decision-making process to determine the best alternatives from an economic point of view, aiming at maximizing revenues.

Resumo: Neste artigo objetiva-se avaliar uma melhor solução para um despacho de geração-carga, na qual, em meio a esse cenário, a presença de sistemas de geração distribuída para uma maior diversificação da matriz energética tem sido o foco para o desenvolvimento de novas opções de fornecimento. Portanto, realizou-se um estudo em determinadas situações para efetivar qual a melhor solução de despacho às cargas, levando-se em consideração as fontes naturais disponíveis, o custo, a distância da rede de distribuição e a necessidade de armazenamento de energia. Nesse sentido, este trabalho apresenta uma análise de um planejamento energético em um sistema IEEE 9 barras. Esse estudo tem por objetivo verificar a melhor solução econômica em um horizonte de 10 anos. Para tal, se utilizou uma ferramenta de otimização como auxílio no processo de tomada de decisão para determinar as melhores alternativas do ponto de vista econômico, visando a maximização das receitas.

Keywords: Energy planning; HOMER; IEEE 9 bus system; case studies; economic feasibility.

Palavras-chaves: Planejamento energético; HOMER; sistema IEEE 9 barras; estudo de caso; viabilidade econômica.

1. INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro apresenta uma vasta matriz energética, a qual possui um grande potencial para implementação de novas diretrizes no âmbito do planejamento. Esta afirmação se justifica, perante as fontes e recursos naturais disponíveis em território nacional, além dos meios de geração de energia elétrica convencionas. Esse conjunto de variáveis, contém uma capacidade para atendimento de uma demanda crescente por eletricidade, imposta por um mercado consumidor mais dinâmico e em expansão.

Em dados fornecidos pela RICYT (2017), o Brasil aparece inserido em uma faixa composta por países desenvolvidos (Fig. 1). Com 1,27% do PIB revertido em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), o país se encontra em um grupo integrado por Portugal, Itália, Canadá e Espanha. Tanto os parques eólicos, quanto as usinas solares fotovoltaicas (PV), vêm se difundindo no Sistema Interligado Nacional (SIN), e a ANEEL vem veementemente fomentando projetos de P&D em parcerias com distribuidoras de energia e Instituições de Ensino Superior (IES) do país. Mesmo figurado entre países já

renomados na ciência, no que diz respeito a investimentos de P&D, dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) evidenciam que apenas 1% de toda pesquisa nacional é baseada em eficiência energética (EBC, 2017) (ANEEL, 2008).

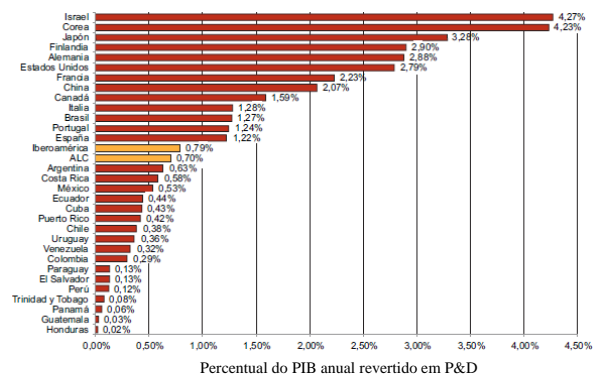


Fig. 1 Investimento de P&D em relação ao PIB em alguns países (RICYT, 2017).

Outro ponto a ser observado é que, aproximadamente, 20 a 25% da eletricidade gerada é perdida nos estágios de transmissão e conversão eletromecânica de energia elétrica (motores e transformadores) (Tôrres, 2004). Assim sendo, uma das possibilidades de corrigir este elevado índice de perdas seria a utilização de energias renováveis, principalmente aquelas que se localizam próximas do consumo, como é o caso das energias solar e eólica. O modelo de Geração Distribuída (GD) possui muitos pontos positivos: colabora com uma redução de perdas na transmissão e distribuição de energia, evita uma possível sobre demanda de energia elétrica no sistema, colabora com índices de níveis de tensão em pontos estratégicos e traz benefícios ambientais ocasionados pela redução de CO₂ na geração de energia. Em meio a esse contexto, a diversificação da matriz energética tem sido o foco para o desenvolvimento de novas opções de fornecimento encontradas no âmbito da GD.

Este trabalho, portanto, apresenta um estudo continuado sobre um modelo IEEE 9 barras. Em um trabalho anterior (da Silva et al., 2018), estudou-se soluções de minimização de perdas e custos na geração de energia elétrica via auxílio do método de Fluxo de Potência Ótimo (FPO), dentro do programa DigSILENT Power Factory. No estudo de caso 4 do mesmo trabalho, foi feita uma previsão de crescimento de carga sobre um horizonte de 10 anos. Para suprir essa potência de modo que não afetasse a alimentação e o despacho de eletricidade no sistema, inseriu-se uma GD (parque eólico) em uma das barras.

Para o presente trabalho, portanto, a primeira proposta é o uso de alternativas de fontes renováveis de energia, de modo que se assegure a continuidade do abastecimento e/ou suprimento de energia no estudo de caso já formulado. Além disto, torna-se essencial o estudo que contém a integração de sistemas de GD à rede elétrica, seja em nível de baixa, média ou alta tensão, motivado pela busca de soluções que contemplem menores custos, riscos e possíveis impactos socioeconômicos e ambientais. Portanto, o objetivo deste trabalho é encontrar soluções economicamente otimizadas, no que diz respeito ao estudo de planejamento energético, em um horizonte de análise de 10 anos, com o uso de variadas fontes de energias renováveis.

2. MODELAGEM DO PROBLEMA

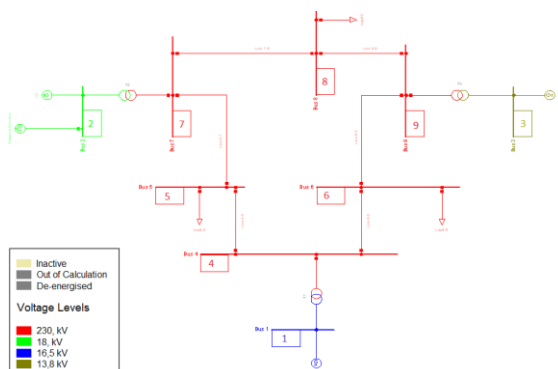


Fig. 2 Circuito exemplo IEEE 9 barras no software DigSILENT Power Factory (da Silva et al., 2018).

A aplicação neste trabalho se dá sobre a continuação de um estudo anterior (da Silva et al., 2018), sobre um modelo adaptado do sistema IEEE 9 barras. A Fig. 2 apresenta o respectivo circuito.

2.1 Custo de Geração de Potência Ativa

No planejamento das operações, o responsável se encarrega pela tomada de decisões sempre direcionadas para que o custo de fornecimento de energia seja o menor ou o mais otimizado possível. Assim sendo, tal condição pode ser representada por funções lineares semelhantes a (1):

$$f = \sum_{n=1}^i C_{pi} \times PG_i, \quad i \in I_G \quad (1)$$

Onde:

I_G – Conjunto de geradores controláveis de potência ativa;

C_{pi} – Custo de geração ativa do gerador i (R\$/MWh);

PG_i – Geração de potência ativa do gerador i .

A partir de uma solução otimizada via FPO, especificamente o estudo de caso 4 (da Silva et al., 2018), buscou-se realizar um estudo de viabilidade econômica para diferentes cenários e fontes de energias renováveis, respeitando a demanda por energia elétrica imposta pela simulação no sistema. De maneira específica, realizou-se um projeto de viabilidade técnica e econômica, em um horizonte de 10 anos, com taxa de juros de depreciação fixadas em 7,5% a.a., com a implementação de um sistema de GD no circuito em questão. Considerou-se os custos de implementação, operação, manutenção e de substituição da fonte.

3. HOMER LEGACY

O software HOMER é um programa computacional desenvolvido para ajudar na análise de sistemas de GD e facilitar a comparação de tecnologias de geração de energia através de variadas aplicações (HOMER, s.d.). O HOMER trata de modelos compostos que calculam o projeto com o seu custo de ciclo de vida definido pelo Valor Presente Líquido (VPL), definido pelo custo total de instalação e operação do sistema ao longo do seu tempo de vida. Essa ferramenta computacional permite comparar muitas opções de diferentes projetos com base em seus métodos técnicos e econômicos.

3.1 Simulação e Otimização

O método de otimização do HOMER é robusto, uma vez que examina todas as combinações possíveis de equipamentos selecionados pelo usuário, além de demonstrar soluções inviáveis dentro das alternativas em estudo. O programa busca simular um sistema viável, tomando-se como referência todas as variáveis pré-estabelecidas em cada dispositivo considerado. Dependendo da magnitude do problema, o HOMER pode simular centenas ou mesmo milhares de possibilidades. Em termos gerais, o programa simula o funcionamento de uma rede convencional, com ou sem GD integrada, durante um ano inteiro por intervalos de tempo de um a sessenta minutos (HOMER, s.d.).

3.2 Análise Sensitiva

Dentre as ferramentas do HOMER, a função de análise sensitiva é uma das mais importantes, pois facilita a comparação de milhares de possibilidades em uma única execução. Isso permite enxergar o impacto de variáveis associadas a elementos naturais e econômicos como, por exemplo velocidade do vento e custo do combustível, respectivamente (HOMER, s.d.).

4. ESTUDO DE CASO

Para uma análise eficiente no contexto de planejamento energético, buscou-se soluções direcionadas a minimização de custos, emprego de recursos disponíveis e associação com fontes renováveis, sintetizando estas opções no programa HOMER. O software auxiliou na visualização dos problemas técnicos de engenharia, permitindo ponderar os pontos analisados.

Em da Silva et al. (2018), estudou-se, via FPO, a minimização de perdas e do custo de geração, a fim de encontrar a melhor opção que contemplasse ambos os quesitos no exemplo IEEE 9 barras. Para todos os casos do estudo anterior, realizou-se uma análise de VPL em um horizonte de 10 anos, com uma taxa de apreciação de perdas de juros de 7,5 % a.a., para uma comparação mais realística.

Especificamente, no estudo de caso 4, além de apresentar a análise otimizada do fluxo de potência, previu-se um crescimento de cargas de 4,5% a.a., durante os mesmos 10 anos de análise. Além disso, inseriu-se uma GD em uma das barras do sistema (barra 6) com custo médio de um parque eólico (a partir de dados encontrados na literatura). Entretanto, na mesma análise, não houve um estudo energético para saber se a GD inserida era adequada para o caso avaliado. Encontrou-se para o trabalho anterior, no horizonte de 10 anos, com uma taxa de juros de 7,5% a.a., um VPL das perdas de R\$ 7.968.168.404,88 (conforme a Tabela 1).

Tabela 1. Custo final de operação para o Cenário 4 (da Silva et al., 2018) em um horizonte de 10 anos.

ANO	1	2	3	4
Investimento	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 400.000.000,00
Perdas	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00
Receita				
Fluxo de Caixa	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.449.465.520,00
ANO	5	6	7	8
Investimento	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Perdas	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00
Receita				
Fluxo de Caixa	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00
ANO	9	10		
Investimento	R\$ -	R\$ -		
Perdas	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00		
Receita				
Fluxo de Caixa	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00		
Taxa Juros		7,5%	Valor Presente Líquido	-R\$ 7.968.168.404,88

O objetivo deste artigo é efetuar um estudo, realizado no quarto ano (da Silva et al., 2018), o qual, agora, adotou-se como caso base. Para tanto, neste trabalho, foi implementado (a fim de encontrar a melhor solução energética e opção de fontes de GD) dois estudos de casos, detalhados a seguir:

- i. Projeto de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) + Projeto de uma usina de biomassa + conjunto de geradores a diesel;
- ii. Sistema híbrido completo, contendo uma PCH, uma usina de biomassa, uma usina solar fotovoltaica, um parque eólico + conjunto de geradores a diesel.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos estudos de caso estruturados na metodologia, com o auxílio do software HOMER, buscou-se a melhor solução técnico-financeira com fontes de GD, de modo a atender aos requisitos básicos de um planejamento energético ideal. Os resultados estão apresentados conforme os casos e suas soluções. Definiu-se que, por ser um minissistema de transmissão, não haveria escassez na possibilidade de fontes, isto é, o sistema permitiu, caso necessário, a implementação de uma PCH, de uma usina de biomassa, de um parque de geração de energia fotovoltaica e/ou de um parque de geração de energia eólica.

A potência ativa necessária para suprir a demanda na barra 6, após os 10 anos de previsão de aumento, é de 139,77 MW instantâneo. Assim, considera-se que, atendendo exatamente este valor na simulação do fluxo otimizado, as soluções apresentadas serão verdadeiras. Como resultado da solução do FPO, a fonte o parque eólico contribuiu com 36 MW (Fig. 3 e Fig. 4).

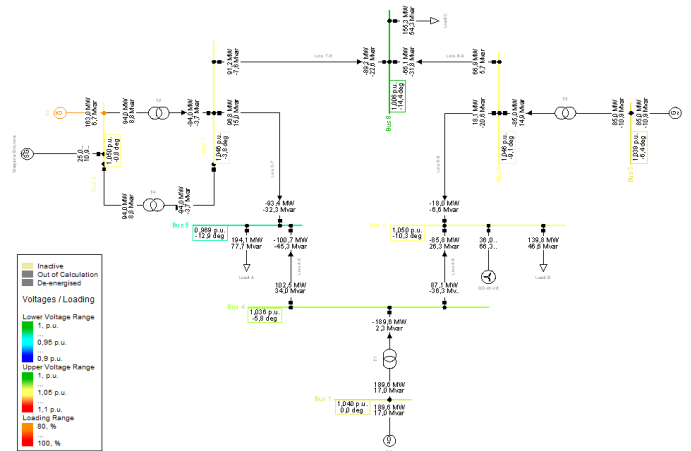


Fig. 3 FPO para o caso base (caso 4 do trabalho da Silva et al. (2018)).

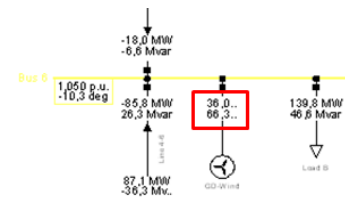


Fig. 4 Despacho da GD na barra 6 para o caso base.

Para uma solução mais próxima do real, o sistema necessita de uma curva de carga que varie ao longo do dia. Sabe-se que o

despacho de potência de 36 MW previsto pelo FPO é instantâneo, considerou-se o valor como despacho médio. Utilizou-se uma adaptação da curva de carga, a partir do perfil médio da geração de energia elétrica do SIN do Brasil (ONS, 2019).

Assim sendo, o perfil de despacho, formado pela energia elétrica gerada pelo parque eólico, é ilustrado na Fig. 5. Este perfil, apresenta uma adaptação da curva de carga a ser considerada no HOMER, de modo que se atenda, em média, os 36 MW de potência demandados e respeite o perfil de carga do SIN.

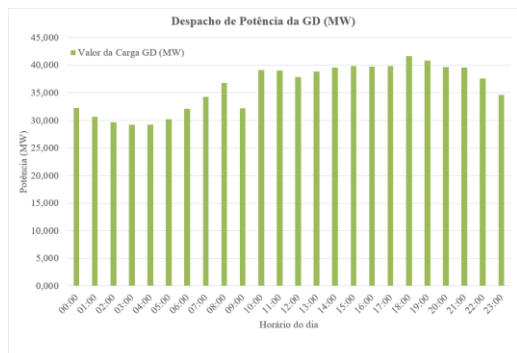


Fig. 5 Despacho da GD para carga na barra 6.

Caso 1. PCH, Biomassa e Geradores a Diesel

Para este caso se considerou, em primeiro momento, apenas uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) com capacidade de geração de até 30 MW. Conforme a Tabela II, percebeu-se que houve picos maiores que os 30 MW, concluindo-se, previamente, que a usina de biomassa e os geradores a diesel deveriam participar ativamente na geração. A Fig. 6 apresenta o sistema montado para este caso. Logo, definiu-se para avaliação do problema:

- i. Uma PCH de 30 MW, orçada em R\$ 248.000.000,00, com custo de O&M de R\$ 1.051.200,00 por ano;
- ii. Uma usina de biomassa de 6 MW, orçada em R\$ 20.000.000,00, com O&M no valor de R\$ 120,00 por hora;
- iii. Um conjunto de geradores a diesel de 1 MW cada, com capacidade máxima de 15 MW, custando, aproximadamente, R\$ 5.000.000,00 por unidade, além do custo de O&M de R\$ 200,00 por hora.

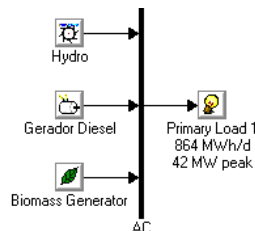


Fig. 6 Sistema Energético para o Caso 1.

Verifica-se que independentemente da quantidade de variáveis sensíveis, a melhor solução para o caso em análise é apresentada pelo emprego das 3 fontes, conforme a Fig. 7 e a Fig. 8.

Sensitivity Results		Optimization Results										
Sensitivity variables												
Stream Flow (L/s)	14,000	Diesel Price (\$/L)	5									
D1 Capital Multiplier	2	Bio Capital Multiplier	0.5									
Double click on a system below for simulation results												
System	Hydro (kW)	D1 (kW)	Bio (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Biomass (\$)	D1 (hrs)	Bio (hrs)
Hydro	33109	15...	3000	\$ 415,730...	148,101,280	\$ 1,432,309...	0.662	0.83	24,335...	1,825	8,547	928
D1	33109	15...		\$ 405,730...	153,464,400	\$ 1,459,122...	0.674	0.82	25,199...			8,760

Fig. 7 Resultado tabular para o Caso 1.

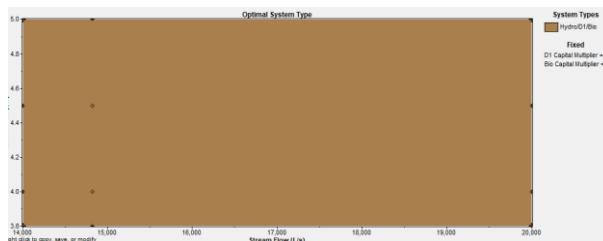


Fig. 8 Resultado gráfico para o Caso 1.

A Fig. 9 apresenta o fluxo de caixa obtido para as três fontes de energia elétrica utilizadas, sendo *Hydro* a PCH, *D1* os geradores a diesel e *Bio* a usina de biomassa. Ressalta-se que o valor final do VPL, determinado pelo HOMER, é o valor total de R\$ 1.432.309.248,00, somando-se ao valor de R\$ 22.440.744,00 (relativo ao retorno de investimento pelo programa), resultando, assim, em R\$ 1.454.749.992,00. Este valor foi inserido nas perdas obtidas no caso 4 em da Silva et al. (2018) para o VPL do ano 10, resultando em um montante de R\$ 8.757.206.176,36 (Tabela 2). A Fig. 10 apresenta o despacho na geração de cada uma das fontes, onde se verificou que a maior potência despachada é via PCH. O custo elevado ficou a cargo do grande consumo de óleo diesel para os geradores.

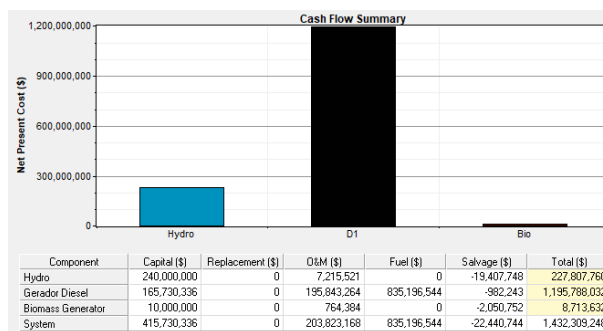
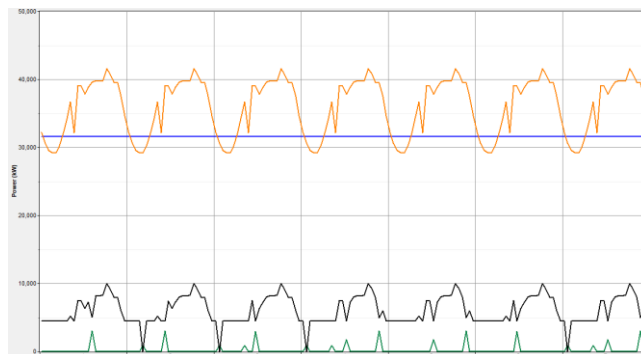


Fig. 9 Fluxo de caixa para o sistema de GD do Caso 1.



Legenda:
■ Carga; ■ PCH; ■ Gerador Diesel; ■ Biomassa.

Fig. 10 Despacho de potência de geração/carga.

Tabela 2. Custo final de operação para o Caso 1.

ANO	1	2	3	4
Investimento	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Perdas	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00
Receita				
Fluxo de Caixa	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00
ANO	5	6	7	8
Investimento	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Perdas	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00
Receita				
Fluxo de Caixa	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00
ANO	9	10		
Investimento	R\$ -	R\$ 1.454.749.992,00		
Perdas	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00		
Receita				
Fluxo de Caixa	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 2.504.215.512,00		
Taxa Juros		7,5%		
			VPL	-R\$ 8.757.206.176,36

Caso 2. PCH, Biomassa, PV, Eólica e Geradores a Diesel

Para este segundo estudo, implementou-se um conjunto de GDs que contemplaram, além das fontes do caso anterior, uma usina solar fotovoltaica e um parque eólico. A Fig. 11 apresenta o sistema montado para este caso. Definiu-se, para avaliação deste problema:

- Uma PCH de 30 MW, orçada em R\$ 248.000.000,00 e com custo de O&M de R\$ 1.051.200,00 por ano;
- Uma usina de biomassa de 6 MW, orçada em R\$ 20.000.000,00 e com custo de O&M no valor de R\$ 120,00 por hora;
- Um conjunto de geradores a diesel de 1 MW cada, com capacidade máxima de 15 MW, custando, aproximadamente, R\$ 5.000.000,00 por unidade, além do custo de O&M de R\$ 200,00 por hora;
- Uma usina solar fotovoltaica, com capacidade máxima de geração de 5 MW, orçada em R\$ 18.000.000,00 (considerando o conjunto inversor);
- Um parque eólico, com capacidade máxima de geração de 30 MW, orçado em R\$ 200.000.000,00 e com custo de O&M de R\$ 20.000,00 por hora.

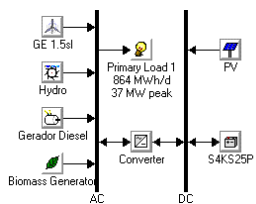


Fig. 11 Sistema Energético para o Caso 2.

Verifica-se que a melhor solução para este caso, apresenta o uso das fontes PCH, parque eólico e geradores a diesel, conforme a Fig. 12 e a Fig. 13.

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
GE 1.5sl	100.000.000	0	137.282	0	-64.692.496	35.444.784
Hydro	240.000.000	0	7.215.521	0	-19.407.748	227.807.760
Gerador Diesel	87.865.168	0	17.729.144	66.822.424	-17.842.680	154.574.048
System	427.865.152	0	25.081.946	66.822.424	-101.942.920	417.826.624

Fig. 12 Resultado tabular para o Caso 2.

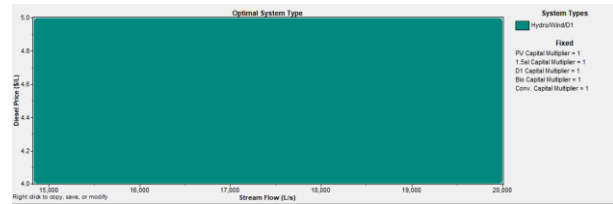


Fig. 13 Resultado gráfico para o Caso 2.

A Fig. 14 apresenta o fluxo de caixa obtido para as fontes simuladas no caso 2. O valor final do VPL, determinado pelo HOMER, é de R\$ 417.826.624,00, somado-se ao valor de R\$ 101.942.920,00 (relativo ao retorno de investimento pelo programa), resultando, assim, no valor total de R\$ 519.769.544,00. O valor final é inserido nas perdas obtidas no caso 4 em da Silva et al. (2018), associadas ao VPL do ano 10, onde se contabilizou um montante de R\$ 8.105.937.474,23 (Tabela 3). A Fig. 15 apresenta o despacho da potência gerada, em cada uma das fontes. Percebe-se que a maior potência despachada é via PCH, seguido da compensação pelos geradores movidos a óleo diesel e da entrada do parque eólico. Como primeiro ponto de análise, observou-se que, o consumo de óleo diesel reduziu em relação ao caso anterior, visto que, com a migração dos aerogeradores do parque eólico, houve uma mudança no perfil de geração. A Tabela 4 apresenta o resumo final dos dois casos estudados e comparados em relação ao caso base.

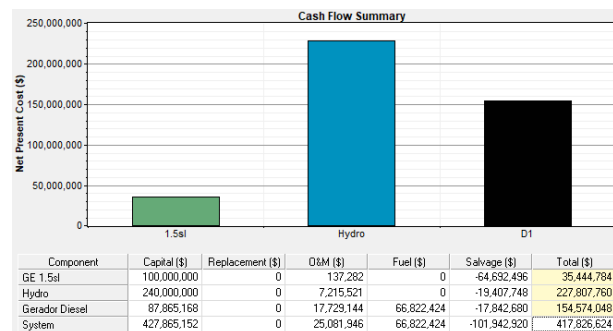
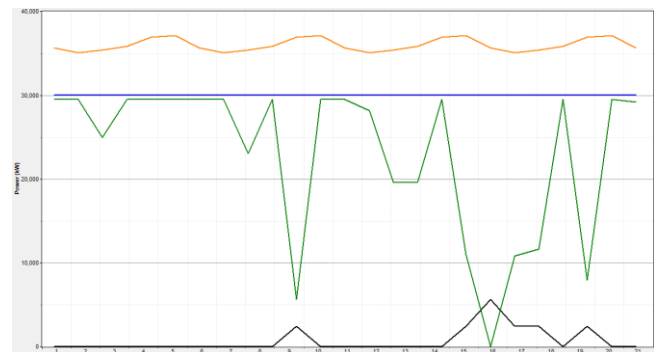


Fig. 14 Fluxo de caixa para o sistema de GD do Caso 2.



Legenda:
■ Carga; ■ Eólico; ■ Gerador Diesel; ■ Biomassa.

Fig. 15 Despacho de potência de cada fonte e carga imposta pelo sistema.

Tabela 3. Custo final de operação para o Caso 2.

ANO	1	2	3	4
Investimento	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Perdas	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00
Receita				
Fluxo de Caixa	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00
ANO	5	6	7	8
Investimento	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Perdas	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00
Receita				
Fluxo de Caixa	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00
ANO	9	10		
Investimento	R\$ -	-R\$ 519.769.544,00		
Perdas	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.049.465.520,00		
Receita				
Fluxo de Caixa	-R\$ 1.049.465.520,00	-R\$ 1.569.235.064,00		
Taxa Juros		7,5%	Valor Presente	-R\$ 8.105.937.474,23

Tabela 4. Resumo dos Estudos de Caso.

Cenário	Custo final aproximado do projeto mais as perdas em 10 anos (R\$)	Custo aproximado da implantação da GD (R\$).	Diferença % do custo da GD em relação ao caso base (trabalho anterior)
Base	7,97 bilhões	0,4 bilhões	-
Caso 1	8,76 bilhões	1,46 bilhões	264 % (mais caro)
Caso 2	8,11 bilhões	0,52 bilhões	30 % (mais caro)

6. CONCLUSÃO

Neste estudo, buscou-se verificar um conjunto de fontes de energia elétrica com melhor desempenho energético e custo de implantação, efetuando-se uma análise no campo do planejamento. No caso 4 do trabalho anterior, estipulou-se que o custo da implantação da GD (que atendesse a demanda de 36 MW obtida pela análise em FPO) seria de aproximados, R\$ 400.000.000,00.

No primeiro estudo de caso deste presente trabalho, o custo de implantação, somado ao custo de insumo (óleo diesel), operação e manutenção ultrapassaram os 1,4 bilhões de reais (em um horizonte de 10 anos), valor este considerado elevadíssimo (em torno de 1,2 bilhões apenas em óleo diesel). O problema além de financeiro se torna ambiental, por não ser uma solução renovável. Para o segundo caso apresentado, com a inclusão do parque eólico e da usina solar fotovoltaica na análise, percebeu-se que o perfil de geração mudou. A geração resultante levou, como solução otimizada, o uso do parque eólico, da PCH e do conjunto de geradores a óleo diesel. O custo de implantação deste segundo sistema, ultrapassou o montante de 500 milhões de reais, entretanto, verifica-se que esta solução, além de mais barata que a do caso 1, é mais renovável. Por fim, destaca-se que o caso 2 está mais próximo do valor estipulado (valor aproximado de 30% mais custoso do que o previsto) no trabalho anterior.

O planejamento energético, visa, por fim, definir parâmetros e medidas que sejam adequados ao projeto, implementação e operação sustentável para geração de energia. Além de uma produção de energia sustentável, procura-se manter a estabilidade entre fonte/carga e potência instalada/demanda. Em meio ao planejamento a longo prazo, softwares como o HOMER surgem para prever a rentabilidade entre custo,

atendimento a demanda e tempo de retorno do investimento (*payback*). A análise, dentro de um horizonte definido, permitiu obter uma perspectiva sobre os tipos de fontes aplicadas de forma mista para atendimento das cargas de maneira equilibrada. Por conseguinte, conforme sequência de parte do estudo elaborado no primeiro trabalho, buscou-se apresentar o modelo IEEE 9 barras, dentro do contexto de planejamento energético. Logo, restringiu-se a pesquisa neste artigo a previsão de crescimento de carga sobre um horizonte de 10 anos buscando, em meio a diferentes cenários, a diversificação no atendimento com foco a novas fontes de energia dentro dos sistemas de GD.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), na modalidade de pesquisador GD/DAI e com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES/PROEX), código de financiamento 001. Os autores agradecem à Universidade Federal de Santa Maria por apoiar o desenvolvimento de pesquisas por meio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e as empresas *DigSILENT* e *NREL* pelas licenças dos programas *Power Factory* e *HOMER Legacy*, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Manual do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento tecnológico do setor de Energia Elétrica”. Brasília, Brasil. 2008.
- Bluesol. (s.d.) “Energia solar e eólica: preços, diferenças e melhores Locais”. [Online]. Available: <<http://blog.bluesol.com.br/energia-solar-e-eolica/>>.
- da Silva, E. R., Delavechia, R. P., Bernardon, D. P. (2018) Minimização de custo de geração em um sistema IEEE de 9 barras utilizando a técnica do fluxo de potência ótimo. In 11th SEPOC – Seminar on Power Electronics and Control, Santa Maria – Brazil, 2018.
- EBC – Empresa Brasil de Comunicação., (2017) Pesquisa e desenvolvimento são principais ferramentas para eficiência energética”. [Online]. Available: <agenciabrasil.ebc.com.br/pesquisa-e-inovacao/noticia/2017-06/pesquisa-e-desenvolvimento-sao-principais-ferramentas-para/>.
- HOMER – Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources. (s.d.) “Homer 2.8 Help Manual”. [Online]. Available:<www.homerenergy.com/pdf/HOMER2_2.8_HelpManual.pdf>.
- ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. (s.d.) “Carga e Geração”. [Online]. Available: <ons.org.br/pt/paginas/energia-agora/carga-e-geracao/>.
- RICYT – Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología. (2017) “EL ESTADO DE LA CIENCIA: Principales Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericanos / Interamericanos”. Altuna Impresores S.R.L., Buenos Aires, Argentina.
- Tôrres, A. G. (2004) “Estudo e Caracterização de Perdas Magnéticas em Motores de Indução”. Thesis (Electrical Engineering), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. 2004.