

**Relatório do Consultor:**

# **Simulações Energéticas dos Sistemas Isolados**

Elaborado por:

**Danilo de Brito Lima**

Para:

**Agência de Cooperação  
Técnica Alemã – GIZ**

Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Setembro 2014



Por meio da:

**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



**Relatório do Consultor:** Simulações Energéticas dos Sistemas Isolados

**Elaborado por:** Danilo de Brito Lima

**Para:** Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

**Programa:** Programa Energia, GIZ Brasil

**No do Programa:** ProFREE II: 12.2478.1-001.00

**Coordenação:** Johannes Kissel (GIZ)  
Thiago Ivanoski Teixeira (Empresa de Pesquisa Energética - EPE)

Setembro 2014

Informações Legais

1. Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelo(s) autor(es). No entanto, erros com relação ao conteúdo não podem ser evitados. Consequentemente, nem a GIZ ou o(s) autor(es) podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo.
2. A duplicação ou reprodução de todo ou partes do estudo (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que a GIZ seja citada como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento escrito da GIZ.

## **Conteúdo**

<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Objetivo.....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Justificativa .....</b>	<b>1</b>
<b>4</b>	<b>Avaliação de Sistemas Híbridos com Energia Fotovoltaica para o Lote III do Projeto de Referência da Eletrobras Distribuição Acre.....</b>	<b>2</b>
<b>5</b>	<b>Estudos de Caso sobre Potencial de Ampliação de Energias Renováveis nos Sistemas Isolados.....</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Síntese e Conclusões .....</b>	<b>6</b>
	<b>ANEXO I.....</b>	<b>8</b>
	<b>ANEXO II.....</b>	<b>9</b>

## **1 Introdução**

Parte da população brasileira, cerca de 2%, vive em áreas onde o Sistema Interligado Nacional (SIN) de energia elétrica não está disponível. Desta forma, estes habitantes são supridos através de sistemas descentralizados de geração de energia, os chamados Sistemas Isolados. Tais Sistemas utilizam, em sua grande maioria, diesel para gerar eletricidade, acarretando em grandes riscos ambientais, devido à logística de abastecimento de combustível, e também levando a altos custos operacionais.

Com base neste cenário, e no âmbito do acordo de cooperação técnica entre os governos brasileiro e alemão, a GIZ vem apoiando a EPE (Empresa de Pesquisa Energética) na integração de energias renováveis em Sistemas Isolados a fim de buscar a eficiência econômica e energética, a mitigação de impactos ao meio ambiente e a utilização de recursos energéticos locais, visando atingir a sustentabilidade econômica da geração de energia elétrica.

Neste contexto, o autor do presente relatório (doravante referido como “Consultor”) foi contratado pela GIZ para desenvolver uma série de produtos no intuito de subsidiar a EPE neste fim. A descrição dos produtos a serem desenvolvidos pelo Consultor pode ser encontrada no Termo de Referência de contratação.

O presente relatório apresenta o Produto 3, denominado “Simulações Energéticas dos Sistemas Isolados”.

As Simulações Energéticas dos Sistemas Isolados têm por objetivo subsidiar a EPE em todo o processo de planejamento e avaliação dos Sistemas Isolados e Regiões Remotas a fim de se verificar a viabilidade da inserção e disseminação de sistemas geradores baseados em energias renováveis.

## **2 Objetivo**

O objetivo deste relatório é apresentar os trabalhos de simulação energética desenvolvidos para os Sistemas Isolados realizados pelo Consultor para subsidiar as decisões, avaliações e planejamento da EPE.

## **3 Justificativa**

Com o advento da Lei 12.111/2009, ficou determinado que as concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviços e instalações de distribuição de energia elétrica nos Sistemas Isolados devem atender à totalidade de seus mercados por meio de licitação, na modalidade de concorrência ou leilão.

Assim como acontece nos leilões do Sistema Interligado Nacional (SIN), no chamado Ambiente de Contratação Regulada (ACR), os empreendimentos de geração que ofertarem energia ao menor preço se consagram vencedores.

Contudo, a Lei 12.111/2009 determina que tais empreendimentos deverão buscar a eficiência econômica e energética, a mitigação de impactos ao meio ambiente e a

utilização de recursos energéticos locais, visando atingir a sustentabilidade econômica da geração de energia elétrica.

Historicamente, os Sistemas Isolados têm sido atendidos por sistemas geradores a diesel. Entretanto, com o contínuo aumento no preço deste combustível ao longo dos anos e, paralelamente, a paulatina redução nos custos das tecnologias de geração baseadas em fontes renováveis, fez-se oportuna uma análise de viabilidade das diversas alternativas de suprimento nos Sistemas Isolados a fim de buscar sempre a segurança energética e a modicidade tarifária.

Desta forma, o objetivo das simulações realizadas pelo Consultor é subsidiar as análises e avaliações levadas a cabo pela EPE a fim de propor alternativas de suprimento que possam atender à demanda do mercado consumidor nos Sistemas Isolados a custos semelhantes ou inferiores.

Desta maneira, será possível perseguir os preceitos de sustentabilidade econômica aliada à utilização de recursos locais.

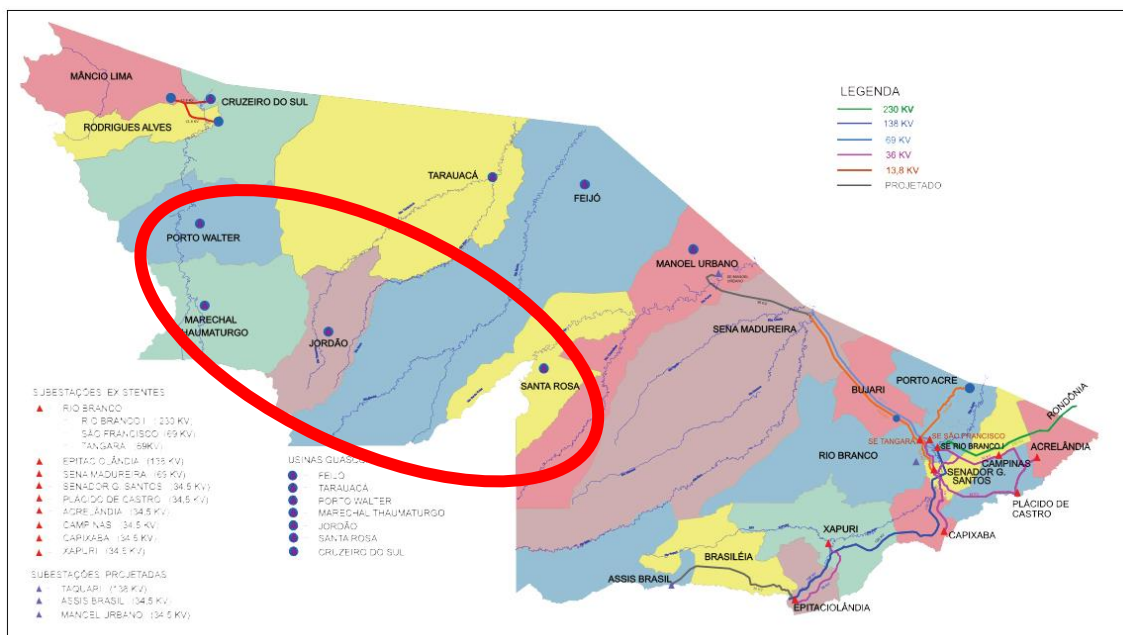
#### **4 Avaliação de Sistemas Híbridos com Energia Fotovoltaica para o Lote III do Projeto de Referência da Eletrobras Distribuição Acre**

Conforme preconizado na Portaria MME nº 600/2010, a Eletrobras Distribuição Acre enviou à EPE os Projetos de Referência para atendimento aos mercados isolados (ou Sistemas Isolados) do estado. Em função das previsões de interligação, os mercados foram divididos em três lotes. O denominado Lote III corresponde aos sistemas que não possuem previsão de interligação, neste horizonte de planejamento.

O Projeto de Referência apresentado pela distribuidora contempla o atendimento por geradores a óleo diesel nos quatro Sistemas Isolados do Lote III. Em conformidade com o art. 8º do Decreto nº 7.246/2010 e tomando como referência o projeto apresentado, a EPE realizou os trâmites necessários para fins de determinação do custo total de geração, estimado em 1.803 R\$/MWh. Esse valor foi considerado muito elevado, principalmente quando comparado a outros sistemas de geração similares. Ressalte-se que este valor é similar ao apresentado no Projeto de Referência (1.902 R\$/MWh), e se deve às dificuldades de acesso às localidades, em especial nas localidades de Jordão e Santa Rosa do Purus, ao baixo fator de escala das usinas e ao alto valor do combustível, conforme informações da distribuidora.

Desta forma, procedeu-se ao estudo para analisar as possíveis alternativas de suprimento que possam implicar em redução deste custo de geração.

A Figura 1 apresenta a localização dos Sistemas Isolados que compõem o Lote III da Eletrobras Distribuição Acre.



**Figura 1 – Localização dos Sistemas Isolados da Eletrobras Distribuição Acre, com detalhe para os sistemas que compõem o Lote III. Fonte: Projeto de Referência submetido pela distribuidora**

O estudo comparou três alternativas de suprimento das localidades informadas: sistemas a diesel, sistemas híbridos diesel-fotovoltaicos sem e com baterias.

A Tabela 1 apresenta o resultado da análise do custo nivelado de energia para cada localidade e para as três alternativas propostas. Os valores informados entre parênteses representam a redução percentual em relação ao custo nivelado de energia do sistema puramente diesel.

**Tabela 1 - Custo nivelado da energia, em R\$/MWh**

<b>Localidade</b>	<b>Fotovoltaico e diesel</b>	<b>Fotovoltaico, bateria e diesel</b>	<b>Diesel</b>
Marechal Thaumaturgo	1.655 (-4,2%)	1.577 (-8,7%)	1.727
Porto Walter	1.657 (-2,2%)	1.540 (-9,1%)	1.695
Jordão	2.157 (-6,8%)	2.119 (-8,4%)	2.314
Santa Rosa do Purus	2.180 (-6,3%)	2.121 (-8,8%)	2.326
<i>Média do Lote<sup>1</sup></i>	<i>1.847 (-4,7%)</i>	<i>1.769 (-8,8%)</i>	<i>1.939</i>

Os valores apresentados na Tabela 1 mostram que é possível atender o mercado consumidor utilizando sistemas híbridos a um custo menor que o cenário de referência, onde é utilizado apenas sistemas diesel. Além disso, foi estimado que a utilização do sistema híbrido diesel-fotovoltaico pode economizar até 25% de combustível anualmente.

<sup>1</sup> Média ponderada pela energia.

Este estudo resultou em uma Nota Técnica encaminhada ao Ministério de Minas e Energia. A versão final desta Nota Técnica encontra-se no ANEXO I.

## 5 Estudos de Caso sobre Potencial de Ampliação de Energias Renováveis nos Sistemas Isolados

O documento “Estudos de Caso sobre Potencial de Ampliação de Energias Renováveis nos Sistemas Isolados” tem por objetivo a avaliação do potencial de integração de energias renováveis nos Sistemas Isolados a fim de subsidiar decisões que possam promover a busca pela eficiência econômica e energética, a mitigação de impactos ao meio ambiente e a utilização de recursos energéticos locais. Tais medidas visam atingir a sustentabilidade econômica da geração de energia elétrica nestes sistemas.

Especificamente, este estudo visa avaliar as condições necessárias para que alternativas de atendimento possam ser implantadas a fim de reduzir os custos de geração de energia elétrica e os impactos ao meio ambiente.

Para tal, foram selecionadas algumas localidades do Sistema Isolado que pudessem representar o espectro de sistemas localizados na região amazônica. A

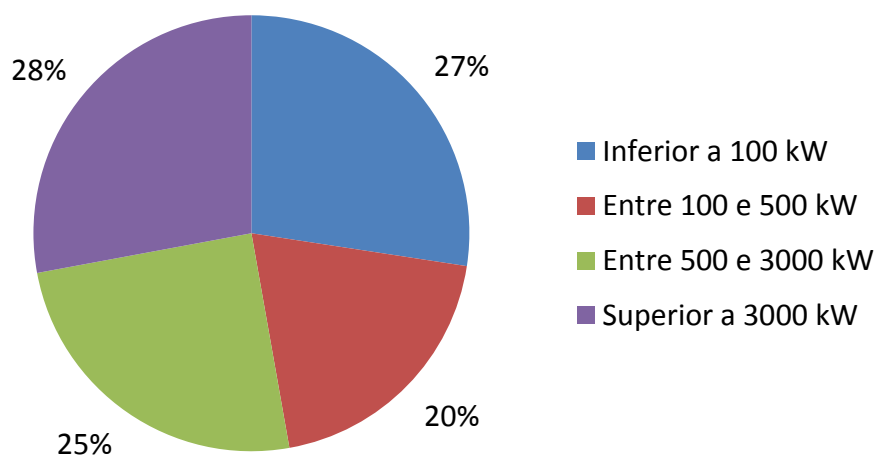
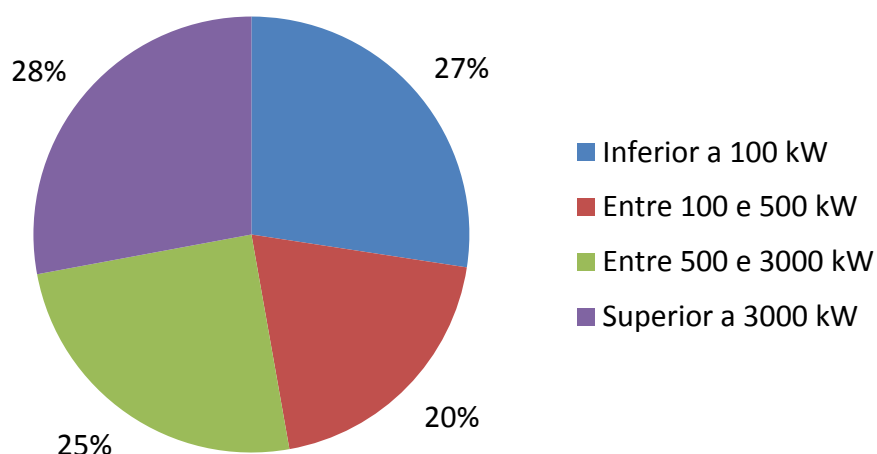


Figura 2 apresenta a distribuição das localidades do Sistema Isolado em função de sua demanda máxima no ano de 2023. Nota-se que há uma divisão proporcional entre os grupos selecionados, de modo que uma localidade de cada grupo foi utilizada para o estudo de caso. Uma exceção foi o grupo de localidades com demanda inferior a 100 kW. Como este grupo pode ser atendido através de Microssistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI, priorizou-se a análise das demais localidades que não partilham desta particularidade.



**Figura 2 – Distribuição das Localidades dos Sistemas Isolados segundo demanda máxima no ano de 2023**

Através do levantamento das condições de cada localidade, dos custos e especificações dos equipamentos e sistemas, custos do combustível e outras características gerais, procedeu-se às simulações das alternativas de suprimento de cada localidade.

Em comparação com a avaliação do Lote III do Projeto de Referência da Eletrobras Distribuição Acre, este estudo foi mais criterioso em relação às possibilidades e viabilidades técnicas possíveis de serem realizadas.

Este estudo também levou em consideração as novas condições dos leilões de energia dos Sistemas Isolados para aquisição de energia elétrica e potência associada de agente vendedor, publicado pela ANEEL através da Resolução Homologatória N° 1.733 de 20 de maio de 2014.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos custos nivelados de energia para as localidades estudadas e para diferentes configurações de sistemas geradores.

**Tabela 2 – Custo nivelado da energia das Localidades, em R\$/MWh**

Localidade	Diesel	Fotovoltaico-Diesel	Fotovoltaico-Bateria-Diesel
Surpresa/RO	1.244	1.223 (- 1,7%)	1.254 (0,9%)
Itamarati/AM	1.063	1.058 (- 0,5%)	1.083 (1,9%)
Benjamim Constant e Atalaia do Norte/AM	1.016	1.012 (- 0,4%)	1.037 (2,1%)

Em comparação com os resultados da avaliação anterior, nota-se que os sistemas híbridos apresentaram viabilidade bastante superior para os casos do Acre que para os casos aqui estudados.



Entretanto, ao analisar a sensibilidade do custo da energia em relação ao preço do combustível, nota-se que em ambos os estudos os sistemas diesel são mais afetados em do que os sistemas híbridos. Em outras palavras, o custo da energia destes sistemas está menos sujeito à volatilidade dos preços futuros do combustível, tornando-os mais previsíveis.

Por fim, avaliou-se também o comportamento do custo nivelado da energia face à variação da demanda esperada para o ano de 2028. Conclui-se que, em geral, o custo da energia aumenta para todos os sistemas geradores. Para o caso em que a demanda seja inferior à prevista, o sistema híbrido fotovoltaico-diesel ainda apresenta o menor custo da energia. Já o sistema híbrido com bateria apresenta menor sensibilidade a esta variável.

O documento contendo o estudo completo encontra-se no ANEXO II.

## **6 Síntese e Conclusões**

De forma a avaliar as possibilidades e potenciais de integração de energias renováveis nos Sistemas Isolados, E GIZ e EPE solicitaram ao Consultor que fossem realizados estudos e simulações energéticas de diferentes sistemas. Assim, foram realizados dois estudos distintos.

O primeiro estudo dedicou-se a avaliar quatro localidades situadas no estado do Acre. Estas localidades apresentaram custos de geração muitíssimo elevados em comparação com outras do mesmo estado e isso estimulou a avaliação de outras formas de suprimento energético.

Após análises de diferentes cenários, pode-se concluir que sistemas híbridos de energia com geradores a diesel, sistema fotovoltaico e baterias podem atender a demanda por um custo inferior à alternativa utilizando apenas geradores a diesel. Esta fato resultou principalmente do alto custo de aquisição do óleo diesel nestas localidades. Além desta constatação, verificou-se também que os sistemas híbridos estão menos sujeitos à volatilidade no custo da energia devido ao custo do combustível, tornando-os mais viáveis em um cenário de aumento de preços.

Este estudo foi enviado ao Ministério de Minas e Energia, que o encaminhou para a ANEEL em seguida. Em conversas com a equipe da ANEEL, foi informado que este estudo fará parte do edital que será publicado para o leilão de aquisição de energia e potência destas localidades.

O segundo estudo dedicou-se a generalizar as conclusões retiradas do primeiro estudo para outras localidades da região amazônica. Assim, foram selecionadas algumas localidades que representassem o espectro de localidades desta região.

As análises deste estudo estabeleceram critérios técnicos mais restritos que o primeiro estudo, a fim de replicar as condições reais de utilização dos sistemas híbridos.

As conclusões do segundo estudo mostraram que as condições de aplicação dos sistemas híbridos influenciam bastante os custos de energia. Desta forma, a

generalização de resultados para outras localidades não é trivial e deve ser realizada com cautela.

## **ANEXO I**

**Nota Técnica: “Avaliação de Sistemas Híbridos com energia fotovoltaica para o Lote III do Projeto de Referência da Eletrobras Distribuição Acre”**

## **ANEXO II**

**Documento: “Estudos de Caso sobre Potencial de Ampliação  
de Energias Renováveis nos Sistemas Isolados”**