

ANÁLISE DE DADOS DE MONITORAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DOMICILIARES INSTALADOS NO ACRE

Alexandre de Albuquerque Montenegro¹ - alex.ises.br@gmail.com

Claudio Monteiro² - claudio.carvalho@eletrobras.com

Eduardo Borges² - eduardo_borges@eletrobras.com

Werner Klaus³ - werner.klaus@lahmeyer.de

Torsten Schwab³ - torsten.schwab@gtz.de

Jair Urbanetz Junior^{4,5} - jair@labeee.ufsc.br

Lucas Rafael do Nascimento¹ - nascimento.ufsc@gmail.com

Ricardo Rütter^{1,4} - ruther@mbox1.ufsc.br

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Energia Solar – LABSOLAR-UFSC

² Centrais Elétricas Brasileiras, Eletrobrás

³ Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit – GTZ GmbH

⁴ Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

⁵ Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE-UFSC

Resumo. Este trabalho apresenta a análise dos dados de seis Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares (SFD), obtidos por meio de Sistemas Automatizados de Aquisição de Dados (SAAD). Está instalado um total de 103 SFD no âmbito do Projeto Piloto de Xapuri, no estado do Acre. Os SFD analisados são de três tipos diferentes e estão instalados nos seringais de Albrácea (dois SFD, somente com cargas CC), Dois Irmãos (dois SFD, com cargas CC e CA) e Iracema (dois SFD, somente com cargas CA). O objetivo do trabalho é analisar e comparar quantitativamente o desempenho dos três diferentes tipos de SFD; verificar e aprimorar o dimensionamento dos três tipos de sistemas e as suposições envolvidas e obter dados para uma revisão crítica das normas sobre fornecimento de energia elétrica, originada de fontes renováveis, para consumidores isolados, distantes da rede elétrica pública.

Palavras-chave: Energia Solar, Sistema Fotovoltaico Isolado, Sistema Fotovoltaico Domiciliar

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta a análise dos dados obtidos através de Sistemas Automatizados de Aquisição de Dados (SAAD) que monitoram seis dos 103 Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares (SFD) instalados no âmbito do Projeto Piloto de Xapuri, no Acre, nos seringais de Albrácea (dois SFD, somente com cargas CC), de Dois Irmãos (dois SFD, com cargas CC e CA) e de Iracema (dois SFD, somente com cargas CA).

Tal projeto está sendo desenvolvido pela Eletrobrás/DEPP em parceria com a Agência Alemã de Cooperação Técnica (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit - GTZ GmbH).

As atividades de tratamento, análise e interpretação dos dados dos SAAD são desenvolvidas pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR-UFSC), e tomaram por base os trabalhos publicados por Mocelin *et al.* (2007), Svoboda *et al.* (2007), Oliveira e Zilles (2007), Trigo *et al.* (2005), Zilles *et al.* (2004), Trigo *et al.* (2003), Nieuwenhout *et al.* (2001), Instituto de Energia Solar (1998-2001), IEA PVPS Task 2, Report 03 (2002), IEA PVPS Task 3 Report 13 (2003).

Xapuri é um município localizado no sudeste do Acre, na desembocadura do rio de mesmo nome com o Rio Acre. Suas características geográficas e populacionais são: área de 5.251 km²; população de 12.357 habitantes (em 2003); densidade populacional de 2,35 hab./km²; altitude de 150 metros.

2. OBJETIVO DO TRABALHO

Analisar o desempenho de sistemas fotovoltaicos domiciliares (SFD), no que se refere a:

- Comparar quantitativamente o desempenho dos três diferentes tipos de SFD sob ponto de vista técnico;
- Verificar e aprimorar o dimensionamento dos três tipos de sistemas e as suposições envolvidas;
- Obter dados para uma revisão crítica das normas de fornecimento de energia para consumidores distantes da rede interligada através de fontes renováveis de energia.

3. O PROJETO PILOTO DE ELETRIFICAÇÃO RURAL DA ELETROBRÁS E A COOPERAÇÃO TÉCNICA COM A GTZ

O projeto piloto Xapuri é um projeto da Eletrobrás no âmbito da cooperação técnica “Energias Renováveis para a Eletrificação Rural” com a GTZ e tem o objetivo de desenvolver e disseminar modelos sustentáveis da eletrificação de áreas remotas com tecnologias de energia renovável junto às concessionárias de distribuição de energia no âmbito do programa Luz para Todos. O projeto abrange as seguintes linhas de ação:

- Desenvolvimento de modelos sustentáveis de eletrificação rural com energias renováveis
- Elaboração de propostas de políticas públicas e regulamentos para o uso de energias renováveis
- Capacitação dos agentes executores para expandir e disseminar a utilização de energias renováveis em suas áreas de concessão

O trabalho apresentado neste artigo se encaixa no desenvolvimento de modelos sustentáveis de eletrificação rural com energias renováveis. Juntamente com concessionárias – os principais agentes executores do acesso à energia – são desenvolvidos, testados e aprimorados modelos sustentáveis de eletrificação rural utilizando os potenciais regionais da energia renovável mais apropriada. A gestão e manutenção dos sistemas individuais ou descentralizados – o ponto mais crítico deste tipo de serviço – é o foco do trabalho. Por meio da implantação de projetos pilotos, as concessionárias responsáveis adquirem os conhecimentos necessários para uma ampla replicação do modelo e a capacidade para disseminar energias renováveis em sua área de concessão. O primeiro projeto piloto em Xapuri trata do atendimento individual por SFD. O segundo projeto que está sendo desenvolvido trata do atendimento de vilas ou comunidades aglomeradas por geração descentralizada com energias renováveis e distribuição por mini-rede.

4. CARACTERÍSTICAS DOS SFD ANALISADOS

Neste trabalho são analisados os seis SFD do Projeto Piloto de Xapuri que são monitorados por SAAD: dois no seringal de Albrácea (somente com cargas CC, denominados ALBR1 e ALBR2), dois no seringal de Dois Irmãos (com cargas CC e CA, denominados DOIS1 e DOIS2) e dois no seringal de Iracema (somente com cargas CA, denominados IRAC1 e IRAC2). O período analisado foi de setembro de 2007 a junho de 2008.

Houve problemas na coleta de dados de ALBR1 e, por isso, muitas das análises desse SFD ficaram inviabilizadas. Observou-se em 14/12/2007 que, para este SFD, eram inválidos os dados medidos/calculados pelo SAAD de: corrente de descarga da bateria, potência de descarga da bateria e potência do painel fotovoltaico. Além disso, a análise de ALBR1 será feita somente até novembro de 2007, pois é o último mês com dados completos (o SAAD deste SFD só coletou dados até o dia 20/12/2007).

Na Tabela 1 são informadas as características de cada SFD analisado e na Figura 1 são apresentadas fotos das Casas junto às quais foram instalados os SFD analisados. Na Figura 2 é apresentada foto do painel fotovoltaico e do sensor de irradiação de IRAC2.

Tabela 1 - Características de cada SFD analisado

	ALBR1	ALBR2	DOIS1	DOIS2	IRAC1	IRAC2
Cargas	Somente CC	Somente CC	CA e CC	CA e CC	Somente CA	Somente CA
Direção (90° = Leste)	0°	0°	5°	15°	5°	355°
Inclinação principal (N-S)	15°	16°	16°	15°	15°	16°
Inclinação secundária (L-O)	1°	1°	1°	1°	2°	1°
Painel fotovoltaico	potência total nominal: 261 Wp (três módulos fotovoltaicos de silício policristalino de 87 Wp), área total do painel: 1,97 m ²					
Sistema de armazenamento	duas baterias chumbo-ácido (C ₁₀ : 138 Ah; C ₂₀ : 150 Ah; C ₁₀₀ : 165 Ah), com um controlador de carga.					
Demais componentes	um <i>datalogger</i> , um sensor de irradiação solar (piranômetro) e dois sensores de temperatura (PT100, classe B)		um inversor, um <i>datalogger</i> , um sensor de irradiação solar (piranômetro) e um sensor de temperatura (PT100, classe B)		um inversor, um <i>datalogger</i> , um sensor de irradiação solar (piranômetro) e dois sensores de temperatura (PT100, classe B)	



Figura 1 - Casas junto às quais foram instalados os SFD analisados.



Figura 2 - Painel fotovoltaico e sensor de irradiação de IRAC2.

5. SISTEMA DE AQUISIÇÃO E ANÁLISE DE DADOS (SAAD)

Na Tabela 2 são informadas as grandezas medidas e calculadas pelos SAAD dos SFD analisados.

Tabela 2 - Grandezas medidas e calculadas pelos SAAD dos SFD analisados.

	ALBR1	ALBR2	DOIS1	DOIS2	IRAC1	IRAC2
meteorologia	mede irradiação solar (Rad) e temperatura ambiente (T_amb)					
painel fotovoltaico	mede tensão (U_mod); calcula potência real (P_mod) e potência virtualmente disponível (P_mod_vir)					
canal T_aux	mede temperatura nas costas do módulo fotovoltaico	mede temperatura na lateral da bateria – desde 15/09/2007 (antes: temperatura nas costas do módulo fotovoltaico)	-		mede temperatura nas costas do módulo fotovoltaico	mede temperatura na lateral da bateria – desde 14/09/2007 (antes: temperatura nas costas do módulo fotovoltaico)
canal de temperatura usado para cálculo de P_mod_vir	T_aux	T_amb			T_aux	T_amb
bateria	mede corrente de carga e descarga (I_bat_charge, I_bat_disch) e tensão (U_bat); calcula potência de carga e descarga (P_charge, P_disch)					
carga CC	mede corrente (I_DC) e tensão (U_DC); calcula potência (P_DC) e energia consumida (E_DC_daily)				-	
carga CA	-		mede corrente na entrada do inversor (I_inv) e potência na saída do inversor (P_AC); calcula potência na entrada do inversor (P_inv), energia consumida na entrada e na saída do inversor (E_DCinv_daily e E_AC_daily, respectivamente)			

A Potência Virtualmente Disponível (P_mod_vir) é a potência virtual do SFD para determinado nível de irradiação solar e temperatura. Considera-se para seu cálculo que a potência é diretamente proporcional ao nível de irradiação, e leva-se em conta o coeficiente de temperatura do silício policristalino. A equação utilizada para seu cálculo é:

$$P_{mod_vir} = P_{nominal} / Rad_{STC} * Rad * (1 - T_{coef} * (T - T_{STC})) \quad (1)$$

Sendo:

P_mod_vir [W] = potência virtualmente disponível

P_nominal [Wp] = potência nominal do painel fotovoltaico = potência do painel fotovoltaico nas condições padrão de teste (*standard test conditions* - STC)

Rad_{STC} [W/m²] = irradiação solar em STC = 1000 W/m²

Rad [W/m²] = irradiação solar no horário considerado

T_{coef} [°C⁻¹] = coeficiente de temperatura da tecnologia utilizada = 0,0045/°C (para o silício policristalino)

T [°C] = para ALBR1 e IRAC1 é a temperatura do módulo, para os demais SFD é a temperatura ambiente (já que a temperatura do módulo não é medida nesses outros SFD)

T_{STC} [°C] = temperatura em STC = 25°C

Devido à limitação de espaço, somente algumas das análises feitas a partir dos dados coletados serão apresentadas neste artigo, nos tópicos a seguir.

6. IRRADIAÇÃO SOLAR

A partir dos dados coletados pelos SAAD dos seis SFD, foram calculadas as médias mensais da irradiação solar total diária que são apresentadas no gráfico da Figura 3. Na mesma figura foram incluídas as médias mensais da irradiação solar para uma superfície inclinada em 15 graus calculadas através do banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira *et al.*, 2006) e do software RADIASOL (Laboratório de Energia Solar da UFRGS).

Nota-se que as médias mensais calculadas a partir dos valores do referido Atlas apresentam valores bastante superiores aos medidos. A hipótese das queimadas que ocorrem na região influenciarem nessa diferença está descartada, pois as mesmas ocorrem somente entre julho e setembro e o valor da diferença se mantém elevado para quase todo o período de monitoramento (a exceção se dá somente para o mês de maio). Nos relatórios das visitas feitas aos sistemas não foi relatado sombreamento sobre os módulos fotovoltaicos, descartando a possibilidade de este ser um dos fatores que contribuíram para o baixo nível de irradiação solar em relação às médias mensais históricas do Atlas. Deve ser considerada também a possibilidade de que os valores das médias mensais atuais sejam realmente bem menores do que

os da base de dados histórica adotada pelo Atlas para calcular as médias mensais da região analisada. É improvável que a diferença verificada decorra de erro sistemático dos sensores de irradiação, já que foi verificada pouca variação entre os valores das médias mensais de irradiação solar calculados com base nos valores instantâneos medidos pelos sensores dos seis SFD. No entanto, os piranômetros fotovoltaicos (adotados neste projeto) possuem uma resposta ao espectro não tão ampla quanto os termoeletrônicos (adotados nas estações meteorológicas de referência cujos dados foram utilizados para o Atlas), isto implica que uma parcela da irradiação incidente no piranômetro não está sendo contabilizada.

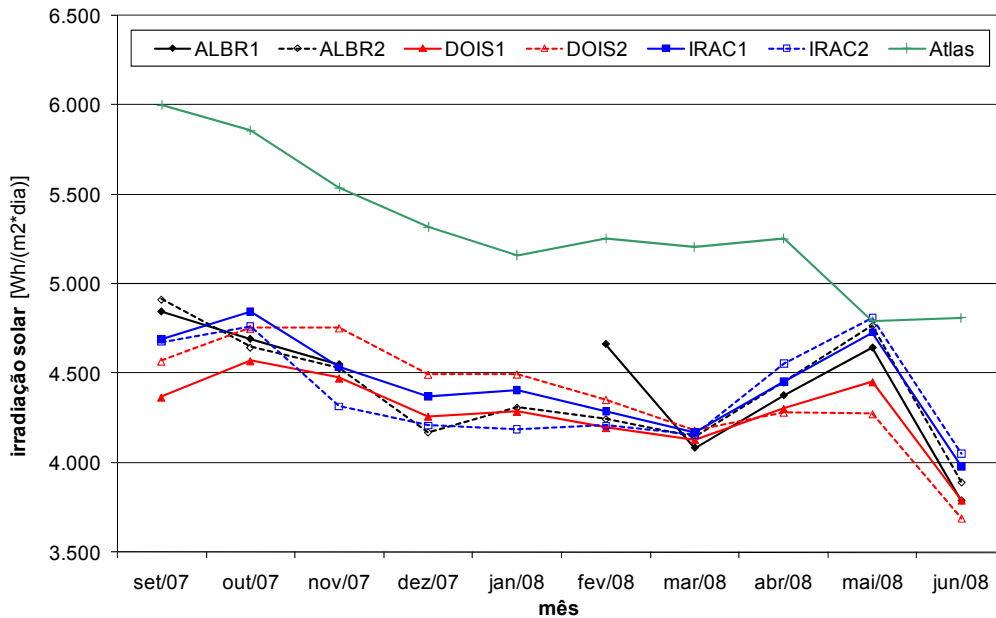


Figura 3 - Média mensal da irradiação solar total diária [Wh/(m²*dia)], com valores de referência (média mensal, para 15 graus de inclinação), calculadas através do banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar e do software RADIASOL.

7. PAINEL FOTOVOLTAICO

A seguir são apresentadas as médias mensais da energia diária gerada pelos painéis fotovoltaicos (Figura 4), as médias mensais da energia diária potencialmente gerada pelos painéis fotovoltaicos (Figura 5) – estas últimas calculadas em função dos valores de P_{mod_vir} (Equação 1) – e as médias mensais das perdas diárias de captação (Figura 6), que correspondem ao excesso de energia não utilizada.

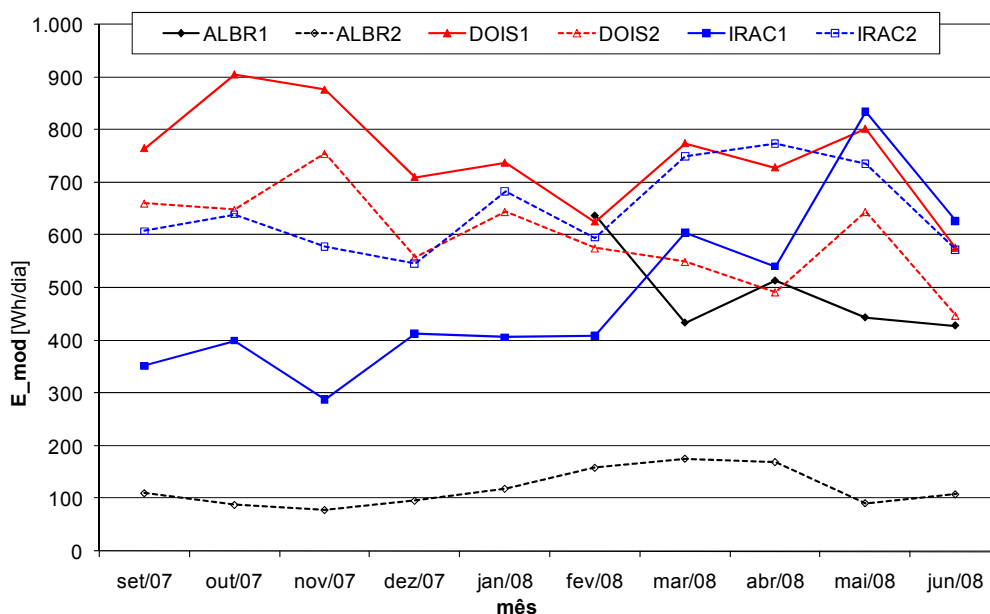


Figura 4 - Média mensal da energia diária gerada pelo painel fotovoltaico (E_{mod})

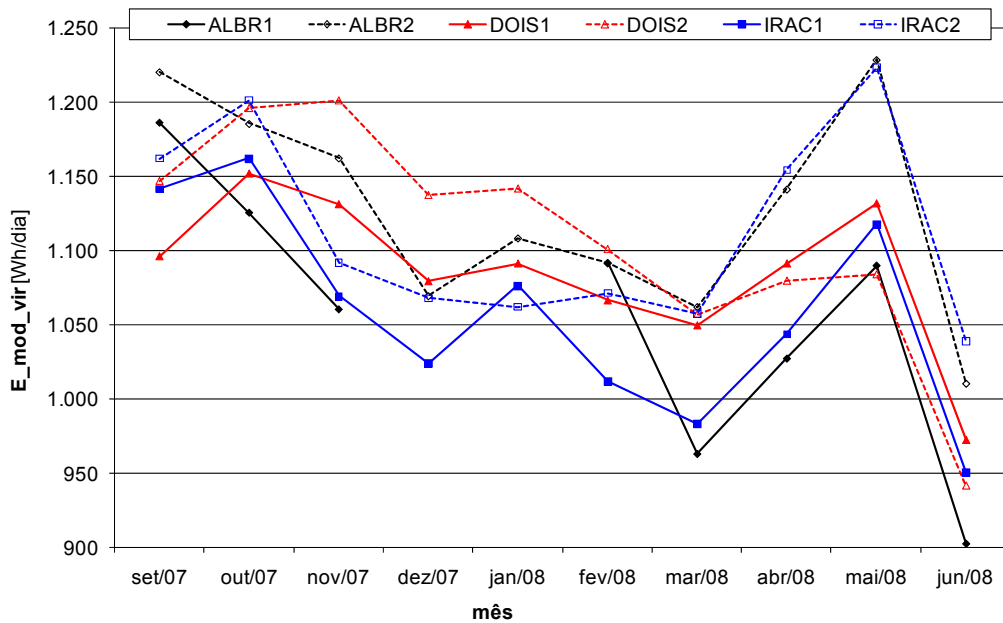


Figura 5 - Média mensal da energia diária potencialmente gerada pelo painel fotovoltaico (E_{mod_vir}), calculada em função dos valores de P_{mod_vir} (Equação 1)

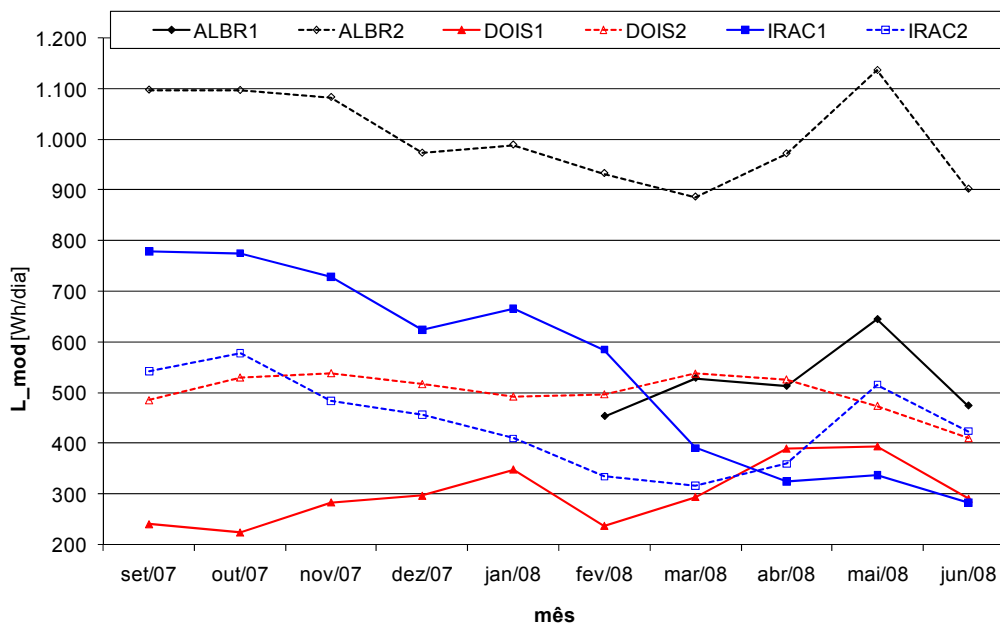


Figura 6 - Média mensal das perdas diárias de captação ($L_{mod} = E_{mod_vir} - E_{mod}$)

A grande diferença entre os valores de E_{mod} e E_{mod_vir} – ou seja, o grande valor das perdas de captação (L_{mod}) – decorre principalmente da falta de demanda energética por parte dos consumidores, como poderá ser verificado no item correspondente à análise das cargas. Enquanto as baterias estão com carga completa, a energia solar disponível excedente é desperdiçada.

Para uma melhor visualização do aproveitamento médio diário, foi calculado o índice apresentado na Figura 7. Quanto maior seu valor, melhor o aproveitamento da oferta solar e, normalmente, melhor o casamento entre oferta solar e demanda de energia.

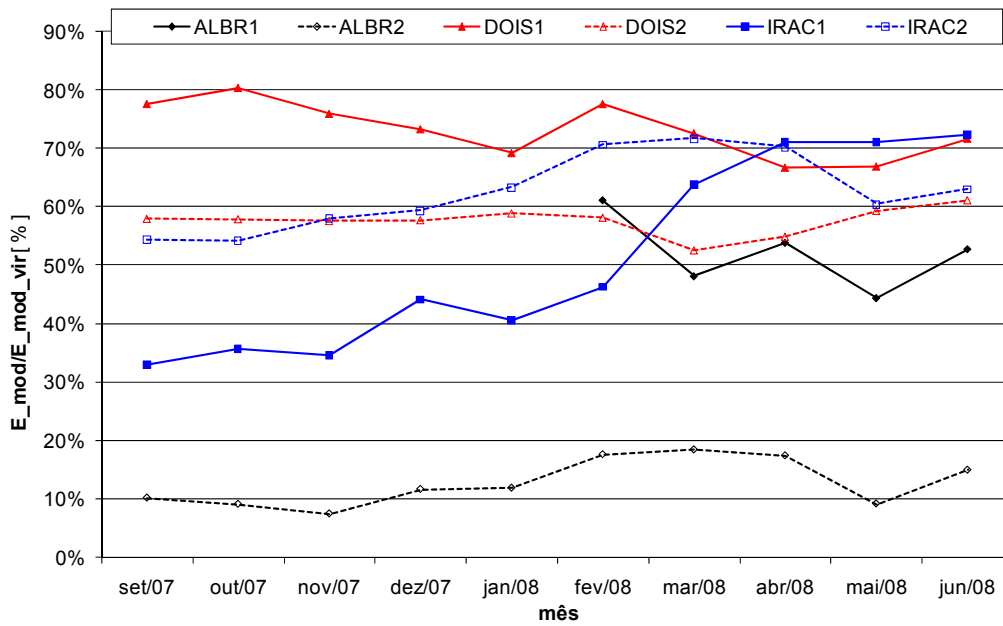


Figura 7 - Média mensal do índice de aproveitamento diário da oferta solar (E_{mod}/E_{mod_vir})

No caso de DOIS1 e DOIS2, tratam-se de casas de poder aquisitivo bastante superior às casas ALBR1 e ALBR2. Conseqüentemente, o consumo nas casas de DOIS1 e DOIS2 é bem maior do que nas casas ALBR1 e ALBR2. Como conseqüência, as perdas de captação em DOIS1 e DOIS2 são bem menores que em ALBR1 e ALBR2.

8. BANCO DE BATERIAS

Na Figura 8 é apresentado o fator de carga mensal do banco de baterias de cada SFD. Para ALBR1 o cálculo não pôde ser feito durante alguns meses por falta de dados. Devido ao baixíssimo nível de consumo em ALBR2 (ver Figura 9), suas perdas são bastante relevantes, e poderão ser constatadas no balanço energético nos tópicos a seguir. A curva correspondente a ALBR2 foi retirada da análise abaixo para permitir uma melhor análise das demais curvas.

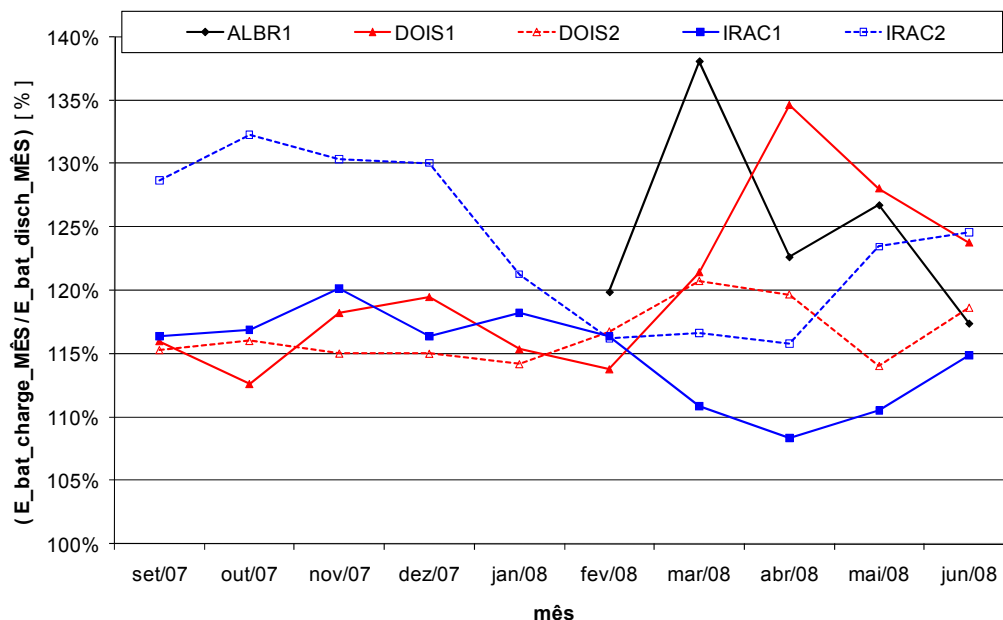


Figura 8 - Fator de carga (carga recebida / carga fornecida) mensal do banco de baterias, na base Wh ($E_{bat_charge_MÊS} / E_{bat_disch_MÊS}$)

Geralmente a bateria necessita de um fator de carga acima de 108% para assegurar que ela é carregada completamente de vez em quando e evitar sulfatação. Fator de carga acima de 130% é associado a perdas de água e corrosão. No caso de baterias livres de manutenção, como as usadas nos SFD analisados, isso provavelmente causará uma redução de vida útil devido à perda de eletrólito (ver Svoboda *et al.*, 2007).

9. BALANÇOS ENERGÉTICOS

Devido à limitação de espaço, serão apresentados os balanços energéticos somente do último período mensal analisado (jun/2008). Observou-se que os valores apresentados pelos balanços energéticos de junho/2008 são típicos para os meses analisados (set/2007 a jun/2008). Esta representação apresenta, portanto, uma boa idéia das perdas mensais nos SFD analisados. Os pontos inicial e final de cada período mensal analisado foram selecionados através da análise dos valores de corrente e tensão da bateria nesses pontos, de forma a que o estado de carga da bateria fosse praticamente o mesmo no início e no final de cada período analisado. Isso permitiu que se eliminasse a necessidade de incluir, nos cálculos dos balanços energéticos, parcelas correspondentes aos estados de carga inicial e final da bateria para cada período analisado.

9.1 Balanço energético com base nos valores diários médios

Na Figura 9 é apresentado o balanço energético que considera os valores médios diários [Wh/dia] listados abaixo:

- E_{mod_vir} = energia potencialmente gerada pelo painel fotovoltaico
- E_{mod} = energia gerada pelo painel fotovoltaico
- E_{CC} = energia consumida pelas cargas CC
- E_{CA} = energia consumida pelas cargas CA
- $E_{consumo_total}$ = energia total consumida = $E_{CC} + E_{CA}$
- E_{CCinv} = energia consumida pelo inversor, em CC
- E_{bat_charge} = energia recebida pelas baterias
- E_{bat_disch} = energia fornecida pelas baterias
- L_{mod} = perdas de captação = $E_{mod_vir} - E_{mod}$
- $L_{inversor}$ = perdas no inversor = $E_{CC_inv} - E_{CA}$
- L_{bat} = perdas nas baterias = $E_{bat_charge} - E_{bat_disch}$
- L_{outros} = outras perdas = $E_{mod} - E_{consumo_total} - L_{bat} - L_{inversor}$

Os conceitos acima também são úteis para a análise das Figuras 10 a 13.

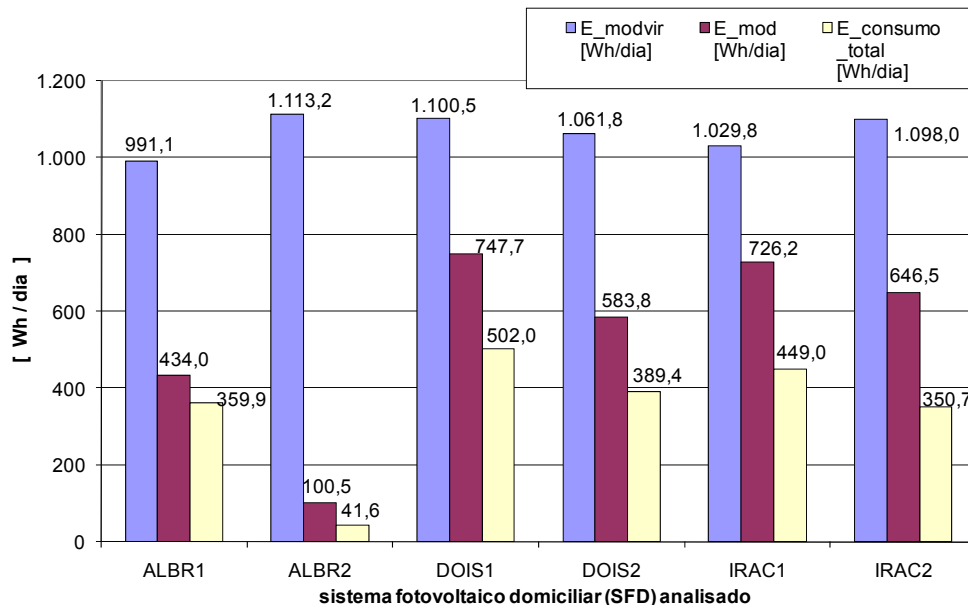


Figura 9 - Balanço energético – valores diários e médios, para o período, de E_{mod_vir} , E_{mod} e $E_{consumo_total}$, em Wh/dia.

Pode-se verificar pela Figura 9 que os valores absolutos das perdas de captação (diferença entre E_{mod_vir} e E_{mod}) são consideráveis para todos os seis SFD analisados, principalmente para ALBR2. A diferença entre a energia consumida ($E_{consumo_total}$) e a energia gerada pelo painel fotovoltaico (E_{mod}) também é considerável para os seis SFD.

9.2 Eficiência e perdas de captação

No balanço energético apresentado na Figura 10 foram analisadas a eficiência e as perdas de captação. Para isso, foram comparados os valores diários médios de energia potencialmente gerada (E_{mod_vir}), energia gerada (E_{mod}) e perdas de captação ($L_{mod} = E_{mod_vir} - E_{mod}$). A análise foi feita em termos percentuais. O valor diário médio de E_{mod} representa os 100%.

Verifica-se pela Figura 10 que os valores percentuais das perdas de captação ($L_{mod}\%$) são elevados para todos os seis SFD analisados, principalmente para ALBR2, e que o valor percentual máximo da eficiência de captação ($E_{mod}\%$) é de 70,5% (IRAC1).

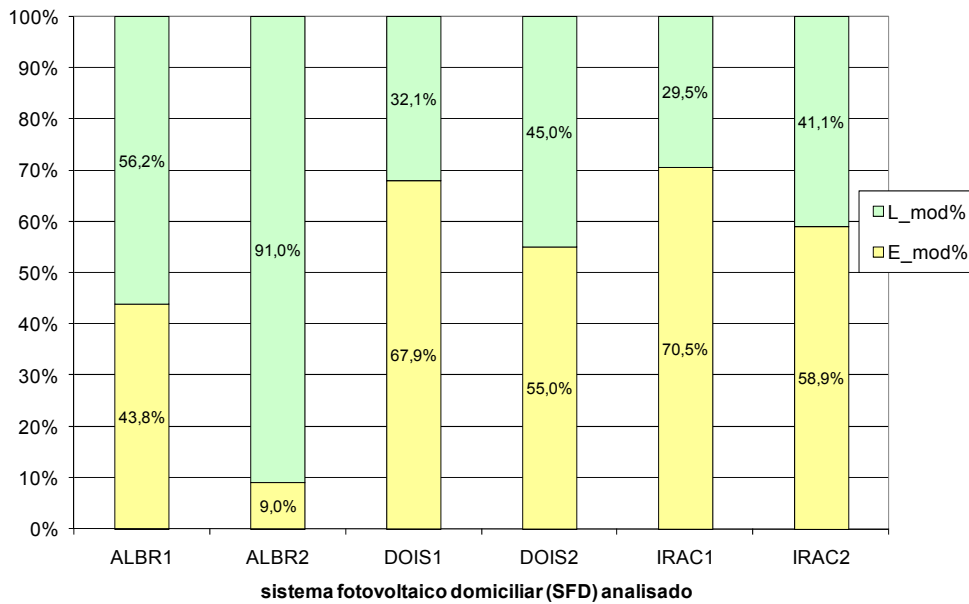


Figura 10 - Perdas de captação ($L_{mod}\% = L_{mod}/E_{modvir}$) e Eficiência de captação ($E_{mod}\% = E_{mod}/E_{modvir}$)

9.3 Balanço energético da energia gerada pelo painel fotovoltaico

Neste Balanço Energético foram comparados os valores diários médios de Consumo CC (E_{cc}), Consumo CA (E_{ca}), Perdas no Inversor ($L_{inversor}$), Perdas na Bateria ($L_{bateria}$) e Perdas em Outros Componentes (L_{outros}). A análise foi feita em termos percentuais. O valor diário médio de E_{mod} representa os 100%. Na Figura 11 são apresentadas as referidas grandezas.

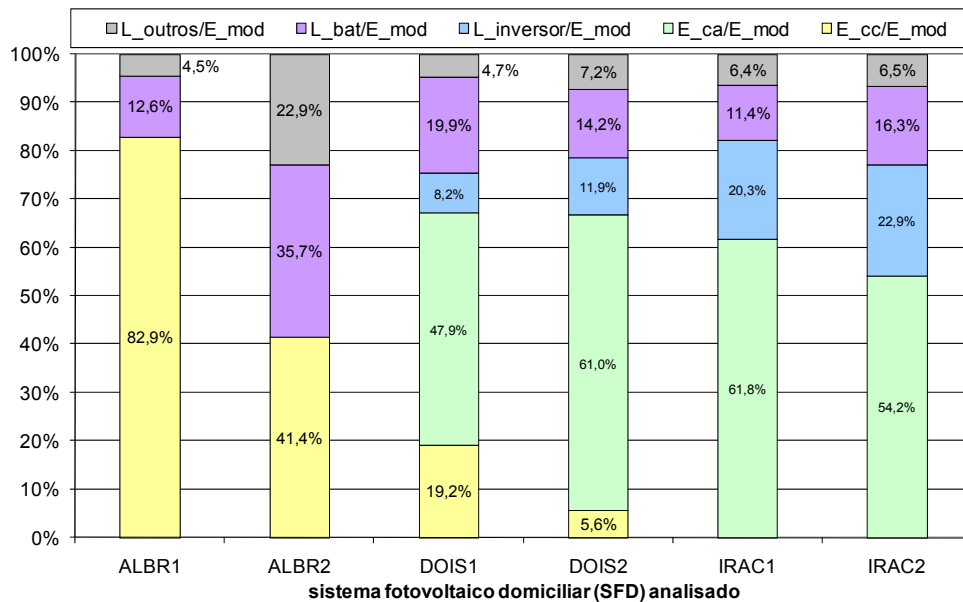


Figura 11 - Distribuição percentual da energia gerada pelo painel fotovoltaico ($E_{mod} = 100\%$).

Deve-se destacar que, para este período (junho/2008), as perdas na bateria de ALBR2 representam 35,7% da energia gerada pelo painel fotovoltaico correspondente.

9.4 Balanço energético no elemento “bateria”

Neste balanço energético foram comparados os valores diários médios de energia retirada da bateria (E_{bat_disch}) e de perdas na bateria ($L_{bateria}$). A análise foi feita em termos percentuais. O valor diário médio da energia que entra na bateria (E_{bat_charge}) representa os 100%. Na Figura 12 são apresentadas as referidas grandezas.

Nota-se que na bateria de ALBR2 o valor das perdas é bastante elevado para o período analisado (a situação se repete para os demais períodos). Foi sugerida a substituição desta bateria. Nas baterias de DOIS1 e IRAC2 também foram observadas perdas acima de 20% para alguns períodos analisados.

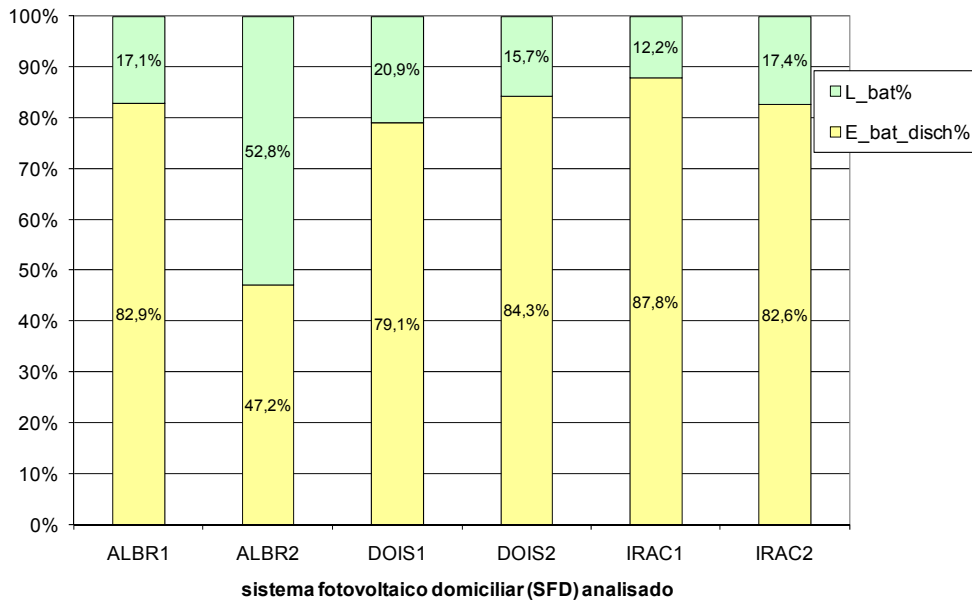


Figura 12 - Perdas nas baterias ($L_{bat}\% = L_{bat}/E_{bat_charge}$) e Eficiência das baterias ($E_{bat_disch}\% = E_{bat_disch}/E_{bat_charge}$).

9.5 Balanço Energético no elemento “inversor”

Neste balanço energético foram comparados os valores diários médios da carga CA (E_{ca}) e de perdas no inversor ($L_{inversor}$). A análise foi feita em termos percentuais. O valor diário médio da energia que entra no inversor ($E_{cc_inversor}$) representa os 100%. Na Figura 13 são apresentadas as referidas grandezas.

Nota-se que está bem abaixo do esperado a eficiência dos inversores utilizados em IRAC1 e IRAC2, principalmente a deste último. Isso pode ter origem no fato que os inversores de IRAC1 e IRAC2 contam com desligamentos automáticos, enquanto os inversores de DOIS1 e DOIS2 são ligados manualmente quando for necessário (a iluminação em DOIS1 e DOIS2 é em corrente contínua). Os inversores de IRAC1 e IRAC2 têm perdas mais elevadas por causa de aparelhos de pequena potência ligados o tempo todo a eles, o que faz com que esses inversores trabalhem num ponto operacional péssimo.

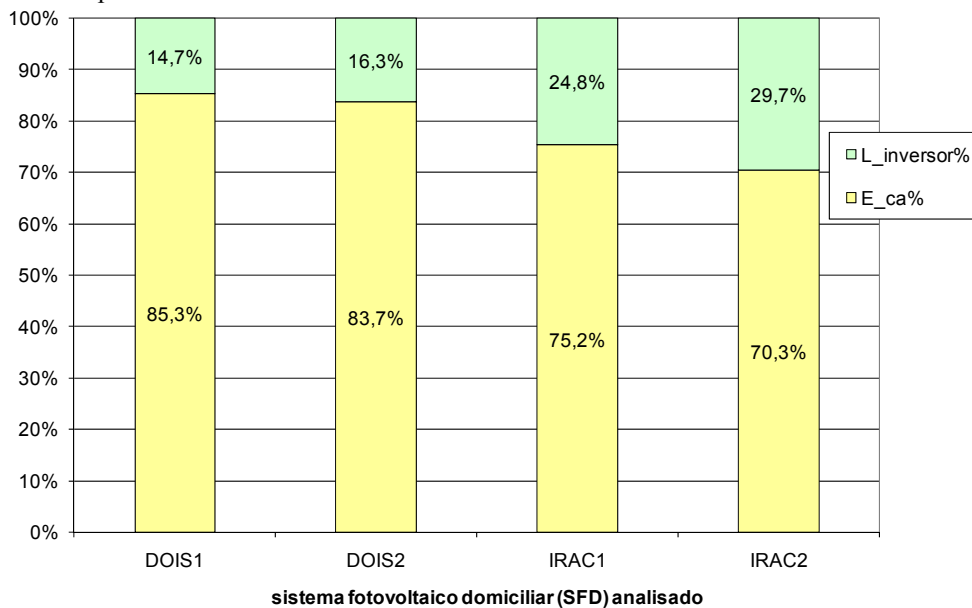


Figura 13 - Perdas no inversor ($L_{inversor}\% = L_{inversor}/E_{CC_inversor}$) e Eficiência do inversor ($E_{CA}\% = E_{CA}/E_{CC_inversor}$).

10. GRANDEZAS DE DESEMPENHO

Na Tabela 33 são apresentadas as médias dos valores mensais das seguintes grandezas de desempenho:

- Fator de geração ($Y_{mod_mês}$) = média mensal da energia gerada pelo painel fotovoltaico, dividida pela potência nominal do painel fotovoltaico.
- Fator de geração referencial ($Y_{mod_vir_mês}$) = média mensal da energia virtualmente disponível (ver cálculo de P_{mod_vir} na Equação 1), dividida pela potência nominal do painel fotovoltaico.
- Fator de geração final ($Y_{final_mês}$) = média mensal da energia efetivamente consumida pelas cargas CC e CA, dividida pela potência nominal do painel fotovoltaico.
- Coeficiente de desempenho $PR = Y_{final_mês} / Y_{mod_vir_mês}$

Tabela 3 - Médias dos valores mensais das grandezas de desempenho.

	$Y_{mod_mês}$ [Wh/Wp/mês]	$Y_{mod_vir_mês}$ [Wh/Wp/mês]	$Y_{final_mês}$ [Wh/Wp/mês]	PR mês [%]
ALBR1	56,5	121,3	30,6	26,04%
ALBR2	13,6	129,6	5,3	4,18%
DOIS1	86,2	124,8	65,1	52,07%
DOIS2	68,7	127,4	47,7	37,42%
IRAC1	56,0	121,6	36,2	29,99%
IRAC2	74,5	127,9	42,3	33,16%

Em geral o PR de um SFD deve ser abaixo de 60%. Um valor abaixo de 50% é bastante comum. Se o consumo do SFD é bastante inferior a 13 kWh/mês (Disponibilidade Mensal Garantida estabelecida na Resolução Normativa ANEEL 083/2004, na classe SIGFI13), o PR fica também bem baixo. Neste caso não seria um problema de superdimensionamento, mas de regulamentação da ANEEL.

Espera-se que no decorrer do projeto os valores de PR_mês cresçam, pois a expectativa é de aumento na demanda, já que agora os seringueiros atendidos dispõem de energia elétrica para atender às suas necessidades.

11. ATENDIMENTO À RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL 083/2004, NA CLASSE SIGFI13

Na Tabela 4 é analisado o atendimento à Resolução Normativa ANEEL 083/2004, na classe SIGFI13. Nota-se que somente quanto à potência mínima em corrente alternada foi verificado o não atendimento, e somente para ALBR1 e ALBR2. Nos demais quesitos, todos os SFD atendem à resolução com folga.

Tabela 4 - Atendimento à Resolução Normativa ANEEL 083/2004, na classe SIGFI13

Quesito	ALBR1 e ALBR2	DOIS1 e DOIS2	IRAC1 e IRAC2
Consumo Diário de Referência	Valores médios registrados para E_{modvir} (Figura 5) atenderam com bastante folga à exigência da resolução, que é de 435 Wh/dia		
Autonomia Mínima	Devido à utilização de duas baterias em paralelo com capacidade de: 138Ah (C_{10}); 150Ah (C_{20}); 165Ah (C_{100}) cada uma, considerando o Consumo Diário de Referência de 435 Wh/dia, a Autonomia Mínima de 2 dias exigida na resolução é atendida com folga.		
Disponibilidade Mensal Garantida	A Disponibilidade Mensal Garantida de 13 kWh/mês requerida pela resolução é atendida. Dividindo-se por 30 este valor, chega-se ao valor médio diário de 433,3 Wh/dia, que é bastante inferior aos valores médios de E_{modvir} (Figura 5) para qualquer dos seis SFDs analisados.		
Potência Mínima Disponibilizada	A Potência Mínima Disponibilizada de 250W em corrente alternada não é atendida, pelo fato de só estar disponibilizada em corrente contínua nos SFD ALBR1 e ALBR2.	A Potência Mínima Disponibilizada de 250W em corrente alternada é atendida, devido à existência de um inversor de 300W.	
Confiabilidade do fornecimento de energia "DIC"	Por este quesito, a casa deve estar sem luz no máximo 648 h ao ano, incluindo falhas técnicas e falta de luz devido a geração insuficiente. No período analisado não ocorreram falhas de fornecimento, a não ser em momentos rápidos (máximo meia-hora) durante poucas paradas para reparos.		

12. CONCLUSÃO

A partir dos dados dos SAAD dos seis SFD analisados pode-se concluir que as médias mensais da irradiação solar medida apresentam valores bastante inferiores aos calculados através do Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira *et*

al., 2006). As perdas de captação também foram elevadas para os seis SFD, em decorrência principalmente do superdimensionamento. As perdas para o banco de baterias foram bastante elevadas para ALBR2 (58,7%), mesmo quando comparadas aos demais SFD analisados, e foi verificada baixa eficiência dos inversores utilizados em IRAC1 e IRAC2, principalmente a deste último. Houve também baixos coeficientes de desempenho (energia consumida dividida pela energia virtualmente disponível), principalmente para ALBR1 e ALBR2.

Quanto ao atendimento à Resolução Normativa ANEEL 083/2004, na classe SIGFI13, notou-se que somente quanto à potência mínima em corrente alternada nos SFD de ALBR1 e ALBR2 foi verificado o não atendimento. Nos demais quesitos, todos os SFD atendem à resolução com folga. Não ocorreram falhas por falta de suprimento de energia final em nenhum dos seis SFDs analisados. Não ocorreu também nenhuma interrupção nem por excesso de consumo nem por falta de recursos solares.

Quanto ao dimensionamento do sistema, para o consumidor real, os seis SFDs estão bastante superdimensionados. Para um consumidor fictício com 435 Wh/dia (SIGFI13), mesmo considerando as perdas nas baterias, nos inversores e nos demais componentes, o sistema estaria superdimensionado.

Agradecimentos

Agradecemos à Eletroacre, ao Governo do Acre, ao Comitê Gestor Estadual e ao Centro de Energias Renováveis da FUNTAC pelo contínuo apoio ao trabalho desenvolvido.

REFERÊNCIAS

- ANEEL, Resolução Normativa ANEEL 083/2004. Disponível em www.aneel.gov.br
- IEA PVPS Task 2, Report 03; 2002. Operational performance, reliability and promotion of photovoltaic systems.
- IEA PVPS Task 3 Report 13; 2003. Guidelines for Monitoring Stand-Alone Photovoltaic Systems: Methodology and Equipment.
- Instituto de Energia Solar - Universal technical standard for solar home systems - Thermie B SUP 995-96, EC-DGXVII, 1998 (updated in 2001). ETSI Telecomunicación, Madrid (Spain).
- Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Software RADIASOL. Disponível em www.solar.ufrgs.br
- Mocelin, A.; Trigo, F. M.; Zilles, R., 2007. Resultados operacionais da implantação de sistemas fotovoltaicos domiciliares de acordo com a resolução ANEEL no. 83/2004. In: I Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2007, Fortaleza. Associação Brasileira de Energia Solar.
- Nieuwenhout, F.D.J.; van de Rijt, P.J.N.M.; Vervaart, M.R.; 2001. Monitoring of solar home systems in China: first year results. Disponível em www.ecn.nl/docs/library/report/2001/rx01021.pdf
- Oliveira, L. G. M.; Zilles, R.; 2007. Avaliação e comparação do funcionamento de diferentes estratégias de controle de carga para sistemas fotovoltaicos domiciliares. In: I Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2007, Fortaleza. Associação Brasileira de Energia Solar.
- Pereira, E. B; Martins, F.R.; Abreu, S.L. e Rüther, R.; 2006. Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE.
- Svoboda, V.; Wenzl, H.; Kaiser, R.; Jossen, A.; Baring-Gould, I.; Manwell, J.; Lundsager, P.; Bindner, H.; Cronin, T.; Norgard, P.; Ruddell, A.; Perujo, A.; Douglas, K.; Rodrigues, C.; Joyce, A.; Tselepis, S.; van der Borg, N.; Nieuwenhout, F.; Wilmot, N.; Mattera, F.; Sauer, D. U.; 2007. Operating conditions of batteries in off-grid renewable energy systems", Solar Energy v81, #11.
- Trigo, F. M.; Zilles, R.; Espinoza, R.; Horn, M.; 2003. Consumo de energia eléctrica en sistemas fotovoltaicos domiciliares de las comunidades de los Uros, Taquile, Amantani y Huancho Lima de la región Puno - Perú. Energías Renovables y Medio Ambiente, Argentina, v. 12, p. 1-8.
- Trigo, F. M.; Zilles, R.; Espinoza, R.; Horn, M.; 2005. Análisis del consumo de ebergia eléctrica en sistemas fotovoltaicos domiciliares instalados en cuatro comunidades altiplánicas de la región Puno, Perú. Energía y Desarrollo, Cochabamba, n. 26, p. 9-17.
- Zilles, R.; Trigo, F. M.; Oliveira, L. G. M.; 2004. A regulamentação dos sistemas fotovoltaicos domiciliares e sua aplicação a realidade da Amazônia. Revista Brasileira de Energia, Brasília, v. 10, n. 1, p. 82-97.

DATA ANALYSES FROM DOMESTIC PHOTOVOLTAIC OFF-GRID SYSTEMS INSTALLED IN ACRE

Abstract. *This paper presents analysis of data from six Domestic Photovoltaic Systems (DPS), obtained by means of Automatic Data Acquisition Systems (ADAS). A total of 103 systems are installed in the frame of Xapuri Pilot Project, in Acre State, Brazil. The DPS analyzed are installed on the rubber plantations of Albrácea (two DPS, with only DC charges), Dois Irmãos (two DPS, with DC and AC charges) and Iracema (two DPS, with only AC charges). The main purpose of the paper is to analyze and compare the performance of three different configurations of DPS; verify and improve the sizing these three types of systems and the hypothesis considered and obtain data for a review of standards related to energy supply, from renewable sources, to consumers located far away from the grid.*

Keywords: *Solar Energy, Off-grid Photovoltaic System, Domestic Photovoltaic System*