



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE MEDIDAS DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS SOLARES
FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS À REDE
ELÉTRICA PÚBLICA

Fabricia de Castro Leyen

Rio de Janeiro, RJ - Brasil
Novembro de 2008

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS
INTEGRADOS À REDE ELÉTRICA PÚBLICA

Fabricia de Castro Leyen

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO
ELETRICISTA.

Aprovado por:

Jorge Luiz do Nascimento, Dr.Eng.

Sergio Sami Hazan, Ph.D.

José Luiz da Silva Neto, Ph.D.

RIO DE JANEIRO/RJ - BRASIL

NOVEMBRO DE 2008

Resumo de Projeto Final apresentado à Escola Politécnica da UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS À
REDE ELÉTRICA PÚBLICA

Fabricia de Castro Leyen

Novembro/2008

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Departamento de Engenharia Elétrica

Este projeto se propõe a analisar a aplicação da energia solar para geração de energia elétrica através de um sistema fotovoltaico interligado à rede para uso residencial, e o impacto que medidas de eficiência energética podem trazer para a viabilidade econômica de uma instalação deste tipo de sistema. Para tanto foram desenvolvidas ferramentas de dimensionamento preliminar de um sistema fotovoltaico, cálculo do consumo de energia de uma edificação e de níveis de iluminância de ambientes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai, minha mãe e minha avó por sempre me apoiarem em todas as fases da minha vida e por todo amor e carinho.

Agradeço à minha irmã, pois sem sua ajuda e amizade não teria chegado ao fim desta etapa tão difícil. Bibi, muito obrigada por tudo, você é uma pessoa especial, que eu tenho a sorte de ter como irmã.

Agradeço ao Professor Jorge Luiz do Nascimento, pela orientação dada neste projeto, e aos Professores José Luiz da Silva Neto e Sergio Sami Hazan por aceitarem fazer parte da minha banca examinadora e pelas colaborações prestadas.

Por fim, agradeço aos amigos que fiz durante os anos de faculdade, e às minhas amigas de tantos anos que sempre me apoiaram e incentivaram.

Índice Analítico

Capítulo 1. Introdução	1
1.1. Justificativas para a Pesquisa	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Organização do trabalho.....	3
Capítulo 2. Energia Solar Fotovoltaica	5
2.1. Radiação Solar.....	5
2.2. Energia Solar Fotovoltaica	6
2.3. Tecnologias Existentes	7
2.3.1. Silício Cristalino	8
2.3.2. Filmes finos	9
2.4. Componentes de um Sistema Fotovoltaico	10
2.4.1. Módulos Fotovoltaicos	10
2.4.2. Inversores de Frequência	13
2.4.3. Demais Componentes do Sistema	14
2.5. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	14
2.5.1. Sistemas Autônomos	14
2.5.2. Sistemas Integrados à Rede Elétrica.....	15
Capítulo 3. Medidas de Eficiência Energética	20
Capítulo 4. Ferramentas Desenvolvidas	23
4.1. Cálculo do Consumo de Energia	23
4.2. Dimensionamento Preliminar do Sistema Fotovoltaico	32
4.3. Análise do Nível de Iluminância do Ambiente	42
Capítulo 5. Estudo de Caso	46
5.1. Condição Base.....	46

5.1.1.	Cálculo do Consumo de Energia	48
5.1.2.	Dimensionamento Preliminar do Sistema Fotovoltaico da Condição Base	53
5.2.	Condição Proposta.....	73
5.2.1.	Análise dos Equipamentos Elétricos	73
5.2.2.	Análise do Nível de Iluminância para a Condição Base	76
5.2.3.	Medidas de Eficiência Energética Realizadas.....	79
5.2.4.	Análise do Nível de Iluminância para a Condição Proposta	82
5.2.5.	Cálculo do Consumo de Energia	86
5.2.6.	Comparação entre as Condições:.....	91
5.2.7.	Dimensionamento Preliminar do Sistema Fotovoltaico da Condição Proposta	95
5.3.	Análise dos Resultados Obtidos	118
Capítulo 6.	Conclusões e Recomendações	121
Bibliografia.....		122

Índice de Figuras

Figura 2-1: Radiação solar diária média anual no plano inclinado para o Brasil (Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar)	6
Figura 2-2: Efeito causado pela variação da intensidade da luz na curva característica IxV para o módulo KC200GT do fabricante Kyocera (Fonte: Catálogo Kyocera).....	12
Figura 2-3: Efeito causado pela temperatura da célula na curva característica IxV (para 1000 W/m ²) do módulo KC200GT (Fonte: Catálogo Kyocera).....	13
Figura 2-4: Esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede.....	15
Figura 2-5: Esquema para medição única do balanço de energia.....	18
Figura 2-6: Esquema para medição dupla	18
Figura 2-7: Esquema para medições simultâneas.....	19
Figura 4-1: Radiações solares para o período de um ano na cidade do Rio de Janeiro (Fonte: programa RADIASOL)	35
Figura 5-1: Planta da residência apresentada no estudo de caso	47
Figura 5-2: Gráfico do consumo de energia de um dia típico para a condição base	51
Figura 5-3: Gráfico do consumo de energia de um dia de fim-de-semana para a condição base	52
Figura 5-4: Consumo diário médio para os valores obtidos na condição base	53
Figura 5-5: Relação entre geração horária média e demanda horária média para o mês de Janeiro com 21 módulos instalados na condição base.....	55
Figura 5-6: Relação entre geração horária média e demanda horária média para o mês de Janeiro com 133 módulos instalados na condição base.....	62
Figura 5-7: Gráfico de pizza do consumo de energia no verão para a condição base.....	74
Figura 5-8: Gráfico de pizza do consumo de energia no inverno para a condição base	75
Figura 5-9: Gráfico do consumo de energia de um dia típico para a condição proposta	88
Figura 5-10: Gráfico do consumo de energia para um dia de fim-de-semana	89
Figura 5-11: Consumo diário médio para os valores obtidos na condição proposta.....	90

Figura 5-12: Comparação entre os consumos mensais das condições base e proposta.....	91
Figura 5-13: Gráfico de pizza do consumo de energia no verão para a condição proposta	92
Figura 5-14: Gráfico de pizza do consumo de energia no inverno para a condição proposta..	94
Figura 5-15: Relação entre geração horária média e demanda horária média para o mês de Janeiro com 9 módulos instalados na condição proposta	96
Figura 5-16: Relação entre geração horária média e demanda horária média para o mês de Janeiro com 21 módulos instalados na condição proposta	101
Figura 5-17: Relação entre geração horária média e demanda horária média para o mês de Janeiro com 133 módulos instalados na condição proposta	103

Índice de Tabelas

Tabela 4-1: Equipamentos elétricos disponíveis na ferramenta de cálculo de consumo.....	27
Tabela 4-2: Radiações Solares Horárias para o período de um ano	34
Tabela 4-3: Exemplo de cálculo de retorno de um investimento pelo método do <i>Payback</i> descontado	41
Tabela 4-4: Níveis de iluminância recomendados para residências	43
Tabela 5-1: Medidas dos ambientes presentes na residência	47
Tabela 5-2: Equipamentos presentes na residência na condição base.....	48
Tabela 5-3: Consumos e custos de energia da condição base para o período de um ano.....	52
Tabela 5-4: Geração horária média mensal de energia fotovoltaica para a instalação de 21 módulos	56
Tabela 5-5: Lucro obtido com a instalação de 21 módulos para a 1ª hipótese da condição base	58
Tabela 5-6: Instalação de 21 módulos a US\$10,00/Wp para a 1ª hipótese da condição base..	59
Tabela 5-7: Instalação de 21 módulos a US\$7,00/Wp para a 1ª hipótese da condição base....	60
Tabela 5-8: Geração mensal de energia fotovoltaica para a instalação de 133 módulos	61
Tabela 5-9: Lucro obtido com a instalação de 133 módulos para a 1ª hipótese da condição base	62
Tabela 5-10: Instalação de 133 módulos a US\$10,00/Wp para a 1ª hipótese da condição base	63
Tabela 5-11: Instalação de 133 módulos a US\$7,00/Wp para a 1ª hipótese da condição base	64
Tabela 5-12: Lucro obtido com a instalação de 21 módulos para a 2ª hipótese da condição base	65
Tabela 5-13: Instalação de 21 módulos a US\$10,00/Wp para a 2ª hipótese da condição base	65
Tabela 5-14: Instalação de 21 módulos a US\$7,00/Wp para a 2ª hipótese da condição base..	66
Tabela 5-15: Lucro obtido com a instalação de 133 módulos para a 2ª hipótese da condição base	67

Tabela 5-16: Instalação de 133 módulos a US\$10,00/Wp para a 2ª hipótese da condição base	67
Tabela 5-17: Instalação de 133 módulos a US\$7,00/Wp para a 2ª hipótese da condição base	68
Tabela 5-18: Lucro obtido com a instalação de 21 módulos para a 3ª hipótese da condição base	69
Tabela 5-19: Instalação de 21 módulos a US\$10,00/Wp para a 3ª hipótese da condição base	69
Tabela 5-20: Instalação de 21 módulos a \$7,00/Wp para a 3ª hipótese da condição base	70
Tabela 5-21: Lucro obtido com a instalação de 133 módulos para a 3ª hipótese da condição base	71
Tabela 5-22: Instalação de 133 módulos a US\$10,00/Wp para a 3ª hipótese da condição base	71
Tabela 5-23: Instalação de 133 módulos a US\$7,00/Wp para a 3ª hipótese da condição base	72
Tabela 5-24: Resumo dos resultados obtidos para a condição base	73
Tabela 5-25: Consumos de energia no verão para a condição base	74
Tabela 5-26: Consumos de energia no inverno para a condição base	75
Tabela 5-27: Valores encontrados no estudo da iluminância para a condição base	77
Tabela 5-28: Valores encontrados no estudo da iluminância para a condição proposta	83
Tabela 5-29: Medidas de eficiência energética adotadas para a condição proposta	85
Tabela 5-30: Equipamentos presentes na residência para a condição proposta	86
Tabela 5-31: Consumos e custos de energia da condição proposta para o período de um ano	90
Tabela 5-32: Valores de consumo e custo de energia obtidos nas condições base e proposta.	91
Tabela 5-33: Consumos de energia no verão para a condição proposta	92
Tabela 5-34: Consumos de energia no inverno para a condição proposta	93
Tabela 5-35: Valores do fluxo de caixa para o investimento em novos equipamentos	94
Tabela 5-36: Tempo de retorno do investimento em novos equipamentos para a condição proposta	94
Tabela 5-37: Geração mensal de energia fotovoltaica para a instalação de 9 módulos	97

Tabela 5-38: Lucro obtido com a instalação de 9 módulos para a 1ª hipótese da condição proposta	98
Tabela 5-39: Instalação de 9 módulos a US\$10,00/Wp para a 1ª hipótese da condição proposta	99
Tabela 5-40: Instalação de 9 módulos a US\$7,00/Wp para a 1ª hipótese da condição proposta	100
Tabela 5-41: Lucro obtido com a instalação de 21 módulos para a 1ª hipótese da condição proposta	101
Tabela 5-42: Instalação de 21 módulos a US\$10,00/Wp para a 1ª hipótese da condição proposta	102
Tabela 5-43: Instalação de 21 módulos a US\$7,00/Wp para a 1ª hipótese da condição proposta	102
Tabela 5-44: Lucro obtido com a instalação de 133 módulos para a 1ª hipótese da condição proposta	103
Tabela 5-45: Instalação de 133 módulos a US\$10,00/Wp para a 1ª hipótese da condição proposta	104
Tabela 5-46: Instalação de 133 módulos a \$7,00/Wp para a 1ª hipótese da condição proposta	105
Tabela 5-47: Lucro obtido com a instalação de 9 módulos para a 2ª hipótese da condição proposta	106
Tabela 5-48: Instalação de 9 módulos a US\$10,00/Wp para a 2ª hipótese da condição proposta	106
Tabela 5-49: Instalação de 9 módulos a US\$7,00/Wp para a 2ª hipótese da condição proposta	107
Tabela 5-50: Lucro obtido com a instalação de 21 módulos para a 2ª hipótese da condição proposta	108
Tabela 5-51: Instalação de 21 módulos a US\$10,00/Wp para a 2ª hipótese da condição proposta	108
Tabela 5-52: Instalação de 21 módulos a US\$7,00/Wp para a 2ª hipótese da condição proposta	109

Tabela 5-53: Lucro obtido com a instalação de 133 módulos para a 2ª hipótese da condição proposta	109
Tabela 5-54: Instalação de 133 módulos a US\$10,00/Wp para a 2ª hipótese da condição proposta	110
Tabela 5-55: Instalação de 133 módulos a \$7,00/Wp para a 2ª hipótese da condição proposta	111
Tabela 5-56: Lucro obtido com a instalação de 9 módulos para a 3ª hipótese da condição proposta	112
Tabela 5-57: Instalação de 9 módulos a US\$10,00/Wp para a 3ª hipótese da condição proposta	112
Tabela 5-58: Instalação de 21 módulos a US\$7,00/Wp para a 3ª hipótese da condição proposta	113
Tabela 5-59: Lucro obtido com a instalação de 21 módulos para a 3ª hipótese da condição proposta	113
Tabela 5-60: Instalação de 21módulos a US\$10,00/Wp para a 3ª hipótese da condição proposta	114
Tabela 5-61: Instalação de 21módulos a US\$7,00/Wp para a 3ª hipótese da condição proposta	115
Tabela 5-62: Lucro obtido com a instalação de 133 módulos para a 3ª hipótese da condição proposta	115
Tabela 5-63: Instalação de 133 módulos a US\$10,00/Wp para a 3ª hipótese da condição proposta	116
Tabela 5-64: Instalação de 133 módulos a US\$7,00/Wp para a 3ª hipótese da condição proposta	117
Tabela 5-65: Resumo dos resultados obtidos para a condição proposta	117
Tabela 5-66: Resultados obtidos no estudo de caso para tempo de retorno do investimento	118
Tabela 5-67: Impacto das medidas de eficiência energética no dimensionamento do sistema	118
Tabela 5-68: Exemplos de tempos de retorno calculados	120

Siglas e Abreviações

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

IEA – *International Energy Agency*

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Capítulo 1. Introdução

Este projeto discute a aplicação de energia solar para geração de energia elétrica através de um sistema fotovoltaico interligado à rede para uso residencial e a influência da implementação de medidas de eficiência energética na viabilidade econômica da instalação de um sistema deste tipo. Os itens deste capítulo, apresentados a seguir, apresentam as justificativas, objetivos e uma breve descrição da organização do trabalho.

1.1. Justificativas para a Pesquisa

O uso da energia solar fotovoltaica vem apresentando um crescimento acelerado em países da Europa e no Japão a partir da criação de incentivos a instalação desses sistemas. O Brasil possui um recurso solar médio muito superior ao dos países acima. A soma anual da radiação solar global diária total incidente no plano horizontal em qualquer região brasileira (1.500 – 2.500 kWh/m²) é maior do que a da maioria dos países europeus, como a Alemanha (900 – 1.250 kWh/m²), França (900 – 1.650 kWh/m²) e Espanha (1.200 – 1.850 kWh/m²), onde projetos de captação solar são amplamente disseminados, alguns com grandes incentivos governamentais (MARTINS *et al.*, 2008).

No Brasil, mais de 40% da energia elétrica consumida é utilizada por edificações residenciais, comerciais e públicas; sendo o setor residencial responsável por 23% do total do consumo nacional e os setores comercial e público responsáveis por 11% e 8% respectivamente. Em capitais como o Rio de Janeiro, em edifícios comerciais e públicos, o ar condicionado é responsável por 50% do consumo de energia elétrica no verão, chegando a 70% para edifícios envidraçados (RÜTHER, 2004).

A geração centralizada de energia possui problemas ambientais inerentes às fontes mais comumente utilizadas, como, por exemplo, os impactos ambientais do alagamento de grandes áreas no caso de usinas hidrelétricas, emissão de gases de efeito estufa e outros poluentes no caso de usinas termelétricas e disposição do resíduo radioativo das usinas nucleares.

A instalação de sistemas solares fotovoltaicos integrados a residências e interligados à rede elétrica pública pode contribuir para reduzir a necessidade de

expansão da oferta de energia a partir de sistemas de geração centralizada, bem como a ampliação dos sistemas de transmissão e distribuição de energia, reduzindo as perdas relacionadas a estes sistemas. Além disso, a energia solar fotovoltaica é uma energia limpa, que não contribui para a emissão de gases de efeito estufa durante sua operação e que não depende do fornecimento de combustíveis.

Por serem conectados à rede elétrica pública, estas instalações dispensam os sistemas acumuladores de energia (bancos de baterias) normalmente utilizados em instalações solares fotovoltaicas do tipo isolada ou autônoma, reduzindo assim consideravelmente o custo total da instalação (da ordem de 30% do custo total do sistema para sistemas com acumulação) (RÜTHER, 2004) e dispensando a manutenção e reposição requeridas por um banco de baterias. Além disso, por poderem contar com a rede elétrica pública como *back up* quando a demanda excede a geração, não há a necessidade de superdimensionamento do sistema para atendimento da demanda energética sob períodos prolongados de baixa incidência solar, como é o caso em sistemas isolados ou autônomos, onde o dimensionamento do sistema deve levar em consideração o pior caso de oferta solar e a sazonalidade que ocorre na maioria das regiões do globo, do que decorre que para alguns períodos do ano o sistema autônomo frequentemente estará superdimensionado, o que eleva os custos da instalação (RÜTHER, 2004).

O custo elevado para a instalação de sistemas fotovoltaicos faz com que esta tecnologia dependa de medidas complementares que aumentem sua viabilidade econômica. Este estudo visa determinar se a implementação de medidas de eficiência energética residenciais pode contribuir para a redução do tempo de retorno do investimento necessário para sua instalação.

1.2. Objetivos

Os objetivos deste trabalho são:

1. Apresentar uma ferramenta de auxílio ao dimensionamento de um sistema fotovoltaico a partir da disponibilização das seguintes informações:
 - a) Previsão mensal de geração de energia com base em séries de dados sintéticas de radiação solar ou entrada de dados medidos no local de instalação do sistema, quando disponíveis;

- b) Previsão do consumo de energia diário, mensal e anual de uma residência a partir da definição dos equipamentos existentes e suas respectivas potências e tempo de uso estimado.
 - c) Tempo de retorno do investimento considerando diferentes cenários de incentivo à geração distribuída de energia a partir da energia solar fotovoltaica.
2. Propor medidas de eficiência energética que possam ser aplicadas em uma residência típica;
 3. Apresentar uma ferramenta de análise dos níveis de iluminância residenciais, visando uma melhor aplicação de lâmpadas e conseqüentemente contribuindo com a efficientização do consumo de energia.
 4. Apresentar um estudo de caso contemplando:
 - a) Comparação do consumo de energia por uso final em uma condição base para uma família de classe média alta, e uma condição alternativa com implementação de algumas das medidas de eficiência energética propostas no item 2;
 - b) Aplicação da ferramenta de análise dos níveis de iluminância, comparando os resultados apresentados entre as duas condições do estudo de caso;
 - c) Tempo de retorno do investimento necessário para a implementação das medidas de eficiência energética;
 - d) Aplicação da ferramenta de dimensionamento preliminar do sistema fotovoltaico para as duas condições definidas acima, determinando a influência das medidas de eficiência energética no dimensionamento do sistema fotovoltaico e no tempo de retorno do investimento necessário para sua instalação.

1.3. Organização do trabalho

Este estudo está dividido em seis capítulos: Os fundamentos teóricos relacionados à energia solar fotovoltaica serão apresentados no segundo capítulo, como base para a proposição de ferramentas e para o caso estudado no capítulo 5.

O terceiro capítulo abordará a questão da eficiência energética como forma de redução de consumo de energia e apresentará uma relação de medidas que podem ser aplicadas a uma edificação residencial, enquanto que no quarto capítulo estarão descritas as ferramentas de auxílio ao dimensionamento do sistema fotovoltaico residencial interligado à rede e de análise dos níveis de iluminância.

No quinto capítulo será feito um estudo de caso comparativo para a instalação de um sistema fotovoltaico antes e depois da aplicação de medidas de eficiência energética. Este capítulo trará também a análise dos resultados obtidos no estudo de caso e o tempo de retorno do investimento considerando diferentes cenários de incentivo à geração distribuída de energia a partir da energia solar fotovoltaica. Por fim, no sexto capítulo, são apresentadas as conclusões finais da pesquisa elaborada, assim como as recomendações decorrentes dos resultados obtidos.

Capítulo 2. Energia Solar Fotovoltaica

A Terra recebe anualmente $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia solar, o que corresponde a 10.000 vezes a demanda total mundial neste período (CEPEL, 2004). Além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, elétrica, etc.). Uma das possíveis formas de conversão da energia solar é a geração direta de eletricidade através do efeito fotovoltaico, que será o foco de estudo deste projeto.

2.1. Radiação Solar

De toda a radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera, apenas uma fração atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera, onde as características da radiação solar (intensidade, distribuição espectral e angular) são afetadas. Esta fração que atinge o solo é constituída por uma componente direta e por uma componente difusa. Notadamente, se a superfície receptora estiver inclinada com relação à horizontal, haverá uma terceira componente refletida pelo ambiente do entorno (solo, vegetação, obstáculos, terrenos rochosos etc.). O coeficiente de reflexão destas superfícies é denominado de “albedo”.

A Figura 2-1 apresenta, para o Brasil, a radiação solar diária média anual no plano inclinado com ângulo igual à latitude do local de incidência (em kWh/m²) obtida através do Atlas Brasileiro de Energia Solar, desenvolvido pelo INPE (INPE, 2006).

Existem diversos programas que fornecem séries de dados sintéticas de radiação solar a partir de modelos tanto para o plano horizontal quanto para o plano inclinado. Programas de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos de avaliação de projetos de energias renováveis como Homer e RETScreen, conveniados à NASA, fornecem esses dados para qualquer lugar do globo. No Brasil também existem *softwares* como o SunData, desenvolvido pelo CRESESB, e o RADIASOL, desenvolvido pela UFRGS que têm esta finalidade.

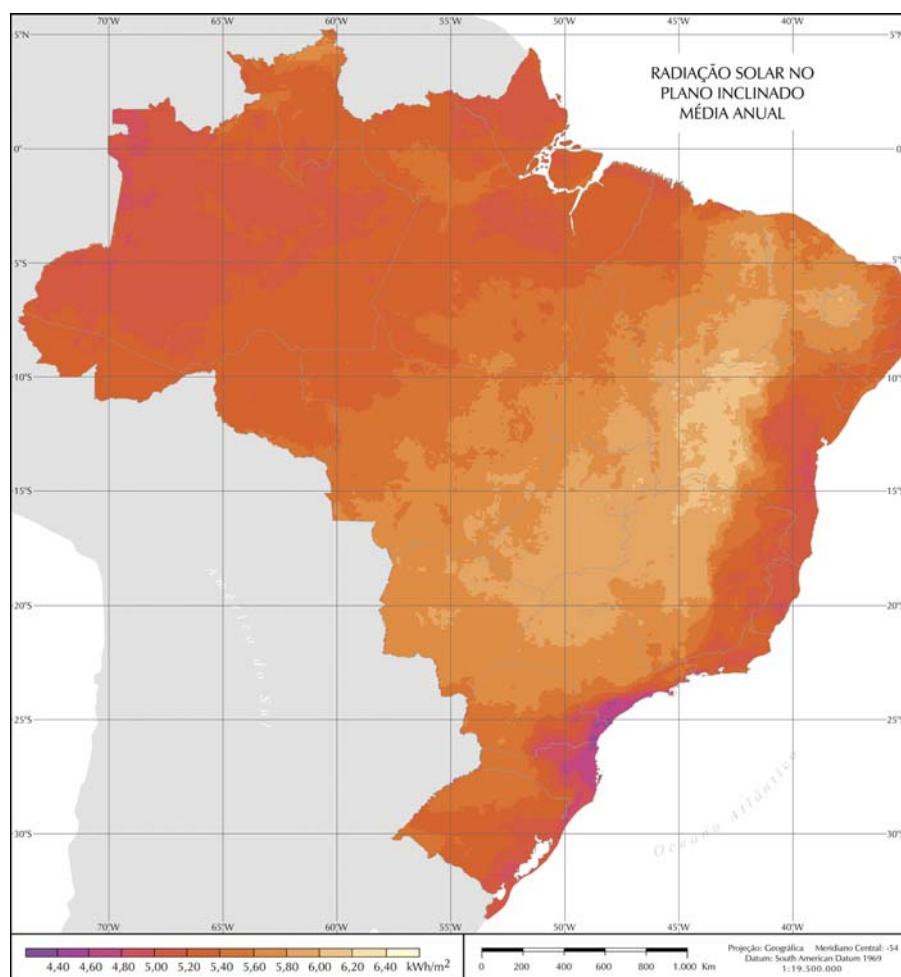


Figura 2-1: Radiação solar diária média anual no plano inclinado para o Brasil (Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar)

2.2. Energia Solar Fotovoltaica

É a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico). O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839 (CEPEL, 2004), é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão.

Desde o surgimento das primeiras células solares fotovoltaicas, de elevado custo e utilizadas na geração de energia elétrica para os satélites que orbitam nosso planeta, as tecnologias de produção evoluíram a tal ponto que se tornou economicamente viável em muitos casos a utilização destas células em aplicações terrestres, no fornecimento de energia elétrica a locais até onde a rede pública não foi estendida. Tais sistemas, ditos remotos ou autônomos, necessitam quase sempre de um

meio de acumulação da energia gerada, normalmente um banco de baterias, para suprir a demanda em períodos quando a geração solar é insuficiente ou à noite. Mais recentemente, sistemas solares fotovoltaicos vêm sendo utilizados de forma interligada à rede elétrica pública, como usinas geradoras em paralelo às grandes centrais geradoras elétricas convencionais. Desta forma fica dispensado o sistema acumulador (baterias), seu elevado custo e manutenção envolvidos, já que a “bateria” da instalação solar fotovoltaica interligada à rede elétrica é a própria rede elétrica (RÜTHER, 2004).

2.3. Tecnologias Existentes

Dentre os diversos semicondutores utilizados para a produção de células solares fotovoltaicas, destacam-se por ordem decrescente de maturidade e utilização o silício cristalino (c-Si); o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H ou simplesmente a-Si); o Telureto de Cádmio (CdTe) e os compostos relacionados ao Disseleneto de Cobre (gálio) e Índio (CuInSe₂ ou CIS e Cu(InGa)Se₂ ou CIGS). Neste último grupo aparecem elementos que são ou altamente tóxicos (Cd, Se, Te), ou muito raros (Te, Se, Ga, In, Cd), ou ambos, o que inicialmente se mostrou um obstáculo considerável ao uso mais intensivo destas tecnologias. O silício, por outro lado, é o segundo elemento mais abundante na superfície de nosso planeta (mais de 25% da crosta terrestre é silício) e é 100 vezes menos tóxico que qualquer um dos outros elementos citados acima (RÜTHER, 2004).

O silício cristalino é a tecnologia fotovoltaica mais tradicional e a única dentre as mencionadas acima que faz uso de lâminas cristalinas (com diâmetro de 10 cm, tipicamente), relativamente espessas (300 - 400µm), o que representa uma maior limitação em termos de redução de custos de produção (RÜTHER, 2004). Todas as outras tecnologias estão baseadas em películas delgadas (filmes finos, com espessura da ordem de 1µm) de material ativo semicondutor e é neste aspecto que reside o grande potencial de redução de custos que estas tecnologias detêm.

O silício cristalino segue sendo, no entanto, o líder entre as tecnologias fotovoltaicas para aplicações terrestres em qualquer escala, principalmente porque nos principais mercados mundiais (Japão e Alemanha) a área ocupada por um arranjo fotovoltaico é uma limitação para as tecnologias fotovoltaicas que apresentam uma menor eficiência de conversão (RÜTHER, 2004).

2.3.1. Silício Cristalino

As células de silício cristalino se dividem em monocristalinas e policristalinas ou multicristalinas. Células solares monocristalinas, ou monocristal (*“single crystal”*), são produzidas a partir de uma “fatia” de um cristal de silício de alta qualidade. Células solares policristalinas são cortadas de um bloco de silício multicristalino de menor qualidade e são menos eficientes, mas de produção mais barata, quando comparadas com as monocristalinas (SILVA, 2006).

a) Silício Monocristalino

O Quartzo é utilizado como fonte de silício, apesar de a areia também poder ser utilizada. A grande experiência na sua fabricação e a pureza do material garantem alta confiabilidade do produto e altas eficiências, sendo normalmente mais eficiente do que a tecnologia de silício policristalino. Devido às quantidades de material utilizado e à energia envolvida na sua fabricação, esta tecnologia apresenta sérias barreiras para redução de custos, mesmo em grandes escalas de produção (CEPEL, 2004).

b) Silício Policristalino ou Multicristalino

Nesta tecnologia o material de partida é o mesmo que para o silício monocristalino, sendo menos eficiente em termos de conversão fotovoltaica. Porém, na prática, o silício policristalino alcança eficiências muito próximas das oferecidas em células monocristalinas. A quantidade de material por célula é basicamente a mesma, com a vantagem de um custo mais baixo de produção, já que a perfeição cristalina é menor e o processamento mais simples (RÜTHER, 2004).

Nos últimos anos, a participação do silício multicristalino tem crescido no mercado fotovoltaico mundial, em detrimento do monocristalino, e atualmente mais de 50% da produção mundial o utiliza (RÜTHER, 2004). Esta tecnologia pode ser também produzida sob a forma de tiras ou fitas (*ribbon technology*).

Para o estudo de caso apresentado no Capítulo 5, esta tecnologia foi a escolhida para compor o sistema fotovoltaico, onde os módulos possuem eficiência de 16%, potência de pico de 200Wp e são de fabricação Kyocera.

2.3.2. Filmes finos

No intuito de buscar formas alternativas de se fabricar células fotovoltaicas, estão sendo desenvolvidas células solares de filmes finos ("*Thin-film*"). O interesse no desenvolvimento desta tecnologia vem da perspectiva de redução de custos e da possibilidade de utilização de substratos de diferentes materiais e formas (SILVA, 2006). A redução de custos de produção se justifica pelas quantidades diminutas de material envolvido, as pequenas quantidades de energia envolvidas em sua produção, o elevado grau de automação dos processos de produção (grande capacidade de produção) e o baixo custo de capital (RÜTHER, 2004). Outra vantagem que contribui para a redução de custos é que as células podem ser produzidas em diversos formatos, tamanhos e características (como por exemplo, janelas), não se limitando ao tamanho da lâmina de silício (SILVA, 2006).

Estas células geralmente têm menos da metade da eficiência das melhores células. Elas são amplamente utilizadas para fornecer energia a aparelhos eletrônicos portáteis (SILVA, 2006).

Entre os materiais mais estudados para aplicação em filmes finos estão o silício amorfo hidrogenado, o Disseleneto de Cobre e Índio e o Telureto de Cádmio.

a) Silício Amorfo

Por sua aparência estética mais atraente, o silício amorfo tem encontrado aplicações arquitetônicas diversas, substituindo materiais de cobertura de telhados e fachadas em instalações integradas ao ambiente construído. Estão disponíveis hoje em dia módulos solares que são flexíveis, inquebráveis, leves, semitransparentes, com superfícies curvas, que estão ampliando o mercado fotovoltaico por sua maior versatilidade (RÜTHER, 2004).

Ao contrário de todas as outras tecnologias fotovoltaicas, em que o aumento da temperatura ambiente provoca perdas no desempenho dos módulos fotovoltaicos, o silício amorfo não apresenta redução na potência com o aumento da temperatura de operação (RÜTHER, 2004).

b) Telureto de Cádmio (CdTe)

A maior eficiência de conversão da energia solar em energia elétrica em comparação ao silício amorfo é um dos principais atrativos desta tecnologia. Os

módulos de CdTe, normalmente sob a forma de placas de vidro num tom marrom/azul escuro, também apresentam um atrativo estético em comparação ao silício cristalino.

Assim como no caso do silício amorfo, os custos de produção do CdTe são atrativamente baixos para produção em grande escala.

O maior problema desta tecnologia é a toxicidade dos materiais utilizados (RÜTHER, 2004), apesar de as quantidades utilizadas serem bem pequenas. Isto significa que os módulos devem receber um destino adequado no final de sua vida útil.

c) Disseleneto de Cobre e Índio (CuInSe₂ ou CIS)

Este composto também é encontrado em ligas com Disseleneto de Cobre e Gálio (CuGaSe₂) e Dissulfeto de Cobre e Índio (CuInS₂), também conhecidas como CIGS. Painéis solares de CIS ou CIGS apresentam, como o silício amorfo e o CdTe, uma ótima aparência estética e estão surgindo no mercado com grandes superfícies, encontrando aplicações arquitetônicas diversas. Dentre os filmes finos comercialmente disponíveis, módulos de CIGS são os que apresentam o melhor rendimento fotovoltaico, razão pela qual várias empresas vêm investindo nesta tecnologia (RÜTHER, 2004).

2.4. Componentes de um Sistema Fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico consiste em módulos fotovoltaicos agrupados em painéis e outros equipamentos relativamente convencionais, que transformam ou armazenam a energia elétrica para que esta possa ser utilizada facilmente nas várias aplicações finais. Os componentes utilizados em sistemas fotovoltaicos interligados à rede estão descritos a seguir.

2.4.1. Módulos Fotovoltaicos

a) Célula Fotovoltaica

Uma célula solar é composta basicamente por material semicondutor, sendo o silício o material mais empregado (CEPEL, 2004). É o dispositivo mais importante de todo o sistema, responsável pela conversão da energia solar em energia elétrica.

b) Módulo Fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é a unidade básica de todo o sistema. É composto por células conectadas em arranjos produzindo tensão e corrente suficientes para a utilização da energia. É indispensável o agrupamento em módulos já que uma célula fornece pouca energia elétrica. O número de células conectadas em um módulo e seu arranjo, que pode ser série e/ou paralelo, depende da tensão de utilização e da corrente elétrica desejada para atingir a potência instalada de projeto.

A conexão em série dos dispositivos fotovoltaicos é feita de um terminal positivo de um módulo a um terminal negativo de outro, e assim por diante. Quando a ligação é série (isto é, idêntico para células, módulos e painéis) as tensões são adicionadas e a corrente não é afetada, ou seja:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

Dispositivos conectados em paralelo compreendem ligações de terminais positivos juntos e terminais negativos juntos. A conexão em paralelo causa a adição das correntes enquanto que a tensão continua a mesma. Ou seja:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

Os módulos solares apresentam normalmente tensões de circuito aberto em torno de 20V, apropriadas para a carga de baterias de 12V em sistemas autônomos, visto que esta era tradicionalmente a aplicação mais comum. Com o crescente interesse por instalações conectadas à rede elétrica, onde as tensões de 110V ou 220V são utilizadas, a indústria vem lançando no mercado módulos com tensão de circuito aberto mais elevadas, como 95V, por exemplo (RÜTHER, 2004).

c) Fatores que Afetam as Características Elétricas dos Módulos

O desempenho dos módulos fotovoltaicos é fundamentalmente influenciado pela intensidade luminosa e temperatura das células. A condição padrão para plotagem das curvas características e testes dos módulos é definida para a radiação de 1.000 W/m² (radiação recebida na superfície da terra em dia claro, ao meio-dia), e temperatura de 25°C na célula (a eficiência da célula é reduzida com o aumento da temperatura) (CEPEL, 2004).

○ **Intensidade luminosa**

A Figura 2-2 representa a curva característica IxV do módulo Kyocera escolhido para utilização no estudo do Capítulo 5, e como é possível observar, a corrente gerada pelo módulo aumenta com o aumento da intensidade luminosa. Por isso, é fundamental determinar a melhor inclinação para cada região em função da latitude local e das características da demanda.

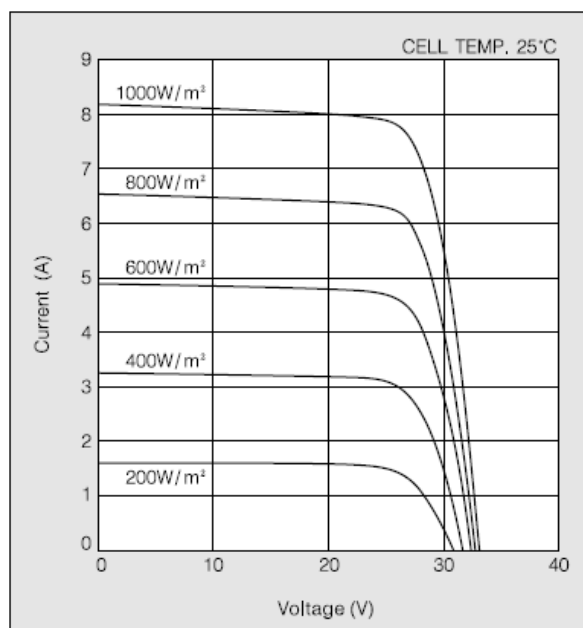


Figura 2-2: Efeito causado pela variação da intensidade da luz na curva característica IxV para o módulo KC200GT do fabricante Kyocera (Fonte: Catálogo Kyocera)

○ **Temperatura das células**

A incidência de um nível de irradiação e a variação da temperatura ambiente implicam numa variação de temperatura nas células que compõem os módulos. A Figura 2-3 mostra curvas IxV do módulo KC200GT para diversas temperaturas de célula, deixando claro a influência quando se compara os “joelhos” das curvas. O aumento do nível de irradiação aumenta a temperatura da célula e conseqüentemente tende a reduzir a eficiência do módulo. Isto se deve ao fato de que a tensão diminui significativamente com o aumento da temperatura enquanto que a corrente sofre uma elevação muito pequena, quase desprezível.

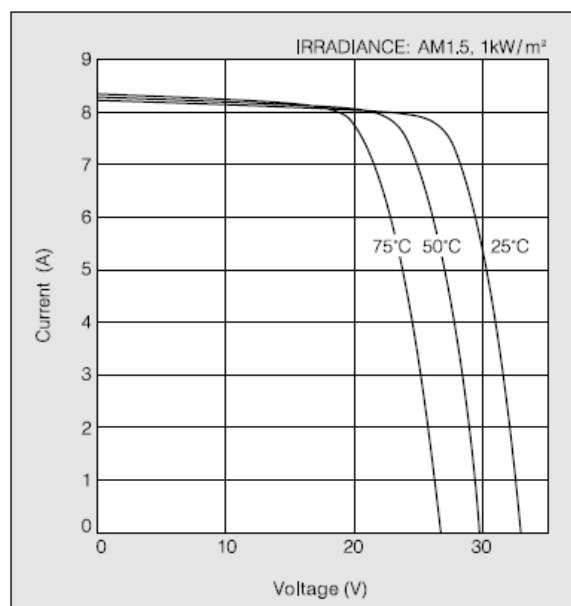


Figura 2-3: Efeito causado pela temperatura da célula na curva característica IxV (para 1.000 W/m²) do módulo KC200GT (Fonte: Catálogo Kyocera)

2.4.2. Inversores de Frequência

O sistema inversor, também conhecido como “conversor CC-CA”, é responsável pela conversão da energia gerada pelos módulos fotovoltaicos, que geram energia elétrica em corrente contínua (CC), em corrente alternada (CA), com forma de onda senoidal.

O inversor deve dissipar o mínimo de potência, evitando as perdas e deve produzir uma tensão com baixo teor de harmônicos e em sincronismo com a rede elétrica, se o sistema fotovoltaico estiver interligado à rede. Muitas vezes utilizam-se filtros para minimizar o conteúdo de harmônicos (CEPEL, 2004).

Existem dois tipos de conversores: conversores estáticos (estado sólido) e eletromecânicos (rotativos). Apenas o primeiro é habitualmente chamado de inversor (CEPEL, 2004). O conversor estático utiliza dispositivos semicondutores que fazem o chaveamento da entrada CC, produzindo uma saída CA de frequência determinada.

2.4.3. Demais Componentes do Sistema

a) Baterias

São utilizadas em sistemas fotovoltaicos isolados ou híbridos, pois como o recurso energético solar apresenta grande variabilidade, devido à alternância de dias e noites, das estações do ano e períodos de passagem de nuvens e chuvosos, se faz necessário neste caso um sistema de estocagem para a energia resultante do processo de conversão.

b) Controladores de Carga

São incluídos na maioria dos sistemas fotovoltaicos, com o objetivo básico de facilitar a máxima transferência de energia do arranjo fotovoltaico para a bateria ou banco de baterias e protegê-las contra cargas e descargas excessivas, aumentando, conseqüentemente, a sua vida útil. Denominações do tipo “Gerenciador de Carga”, “Regulador de Carga” ou “Regulador de Tensão” também são comuns e referem-se a controladores de carga com diferentes níveis de sofisticação (CEPEL, 2004).

2.5. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três categorias principais: isolados, híbridos ou conectados à rede. A utilização de cada uma dessas opções dependerá da aplicação e/ou da disponibilidade de recursos energéticos. Cada um deles poderá ser de complexidade variável dependendo da aplicação em questão e das restrições específicas de cada projeto.

2.5.1. Sistemas Autônomos

Sistemas autônomos, não conectados à rede elétrica, podem ou não apresentar fontes complementares de energia a geração fotovoltaica. Quando a configuração não se restringe à geração fotovoltaica, temos os sistemas híbridos. Se o sistema é puramente fotovoltaico, então ele é chamado de sistema isolado.

2.5.2. Sistemas Integrados à Rede Elétrica

Sistemas conectados à rede são aqueles em que a potência gerada pelo arranjo fotovoltaico é entregue à rede elétrica. Para tanto, é indispensável que se utilize um inversor que deve satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que não degrade a qualidade do sistema no qual se interliga o arranjo fotovoltaico. A Figura 2-4 mostra um esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

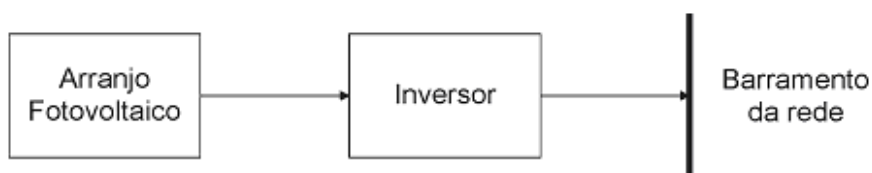


Figura 2-4: Esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede

Nestes sistemas, o arranjo fotovoltaico representa uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectado. Normalmente não utilizam armazenamento de energia, pois toda a potência gerada é entregue à rede instantaneamente. Podem ser instalados de forma integrada a uma edificação (no telhado ou fachada de um prédio e, portanto, junto ao ponto de consumo); ou de forma centralizada como em uma usina central geradora convencional, normalmente a certa distância do ponto de consumo. Neste último caso existe, como na geração centralizada convencional, a necessidade dos complexos sistemas de transmissão e distribuição tradicionais e dos custos envolvidos. Os sistemas centralizados são operados por empresas e sua conexão com a rede é em geral feita em média tensão, como 13,8 kV, e é necessária a presença de um transformador para elevar a tensão ao nível de distribuição (CEPEL, 2004).

Já os sistemas de geração distribuída apresentam vantagens como o fato de não requerer área extra para sua instalação e poder, portanto, ser utilizada no meio urbano, próximo ao ponto de consumo. Isto leva à eliminação de perdas por transmissão e distribuição da energia elétrica, como ocorre com usinas geradoras centralizadas, além de não necessitar de instalações de infra-estrutura adicionais. Os painéis fotovoltaicos podem ser também considerados como um material de revestimento arquitetônico, reduzindo custos, dando à edificação uma aparência estética inovadora e *high tech*, e

trazendo uma imagem ecológica associada ao projeto, já que produz energia limpa e de fonte virtualmente inesgotável (RÜTHER, 2004).

Os sistemas integrados à rede elétrica vêm se tornando cada dia mais populares em diversos países da Europa, no Japão e nos Estados Unidos. As potências instaladas vão desde poucos kWp em instalações residenciais, até alguns MWp em grandes sistemas operados por empresas (CEPEL, 2004).

2.5.2.1. Incentivos Praticados à Geração Fotovoltaica

O desenvolvimento e o crescimento da energia solar fotovoltaica vêm sendo estimulados pela existência de incentivos governamentais. A geração fotovoltaica atualmente não é competitiva com a energia hídrica ou fóssil, e requer incentivos governamentais para que se desenvolva.

Um número crescente de países, como Alemanha, Japão e Espanha, têm criado programas de incentivos atraentes para o desenvolvimento de energia de fontes renováveis, incluindo a energia solar. Entre os programas existentes, pode-se destacar:

- Subsídios diretos para consumidores finais em descontos na aquisição do equipamento e da instalação;
- Incentivos fiscais e taxas de juros mais baixas em empréstimos para financiar sistemas de geração fotovoltaica;
- Normas governamentais determinando o percentual mínimo obrigatório de energia proveniente de fontes renováveis;
- Leis e normas para geração distribuída prevendo a medição de energia produzida e tarifas para venda da energia produzida à rede de distribuição. Exemplos deste programa são o *Net Metering* e a tarifa *Feed-in*:
 - *Net Metering*: A venda se dá através do cálculo da diferença entre energia consumida da rede e energia injetada na rede. Esta forma de tarifação permite ao consumidor compensar seu consumo de eletricidade com a sua geração própria num período determinado, geralmente de um ano (RODRÍGUEZ, 2002), sem levar em consideração o período de consumo ou de geração de energia. Emprega-se para isto um medidor bidirecional que registra o fluxo de energia nos dois sentidos.

- *Tarifas Feed-in*: São definidas pelos governos como o preço que as concessionárias de distribuição devem pagar por cada kWh produzido e que é entregue para a rede. A remuneração das tarifas deve cobrir os custos da geração de eletricidade e, ao mesmo tempo, proporcionar uma margem razoável de lucro. O preço também deve atingir um nível de equilíbrio que o torne acessível ao consumidor de energia e motive o investidor a aplicar seus recursos. O nível da tarifa é geralmente mantido fixo durante um número variável de anos para dar segurança aos investidores, garantindo, assim, parte da receita ao longo da vida útil do investimento. Existem também casos de redução gradual da tarifa, de forma a incorporar a curva de aprendizado e evitar sobrecompensação. A diferença entre as tarifas *Feed-in* e tarifas de consumo regulares variam para cada país ou em alguns lugares até para cada estado. No caso da Alemanha, o preço de compra estabelecido por kWh é de €0,56. A Espanha faz uma distinção no preço pago segundo a potência do sistema: €0,36/kWh para instalações de até 5kW e €0,18/kWh para sistemas maiores (RODRÍGUEZ, 2002).

2.5.2.2. Tipos de Medidores de Energia

Existem basicamente três tipos de conexão quanto à forma de medição da energia. Todas elas devem atender às exigências de qualidade de energia da concessionária local quanto aos limites em distorção harmônica, desvio de frequência e fator de potência. Além da qualidade é importante a questão de segurança. A concessionária deve ser capaz de isolar o sistema fotovoltaico sempre que desejar, e isso deverá ser feito de forma simples e sistemática, evitando riscos para os técnicos de manutenção da rede elétrica.

a) Medição Única do Balanço de Energia

Esta opção, apresentada na Figura 2-5, depende da concessionária remunerar a energia entregue pelo produtor fotovoltaico ao mesmo preço que este compra da concessionária. É o chamado sistema *Net Metering*. Neste caso, um único medidor registra a entrada ou saída de energia elétrica na residência apresentando, ao final do período, o valor da diferença entre energia consumida e entregue à rede.

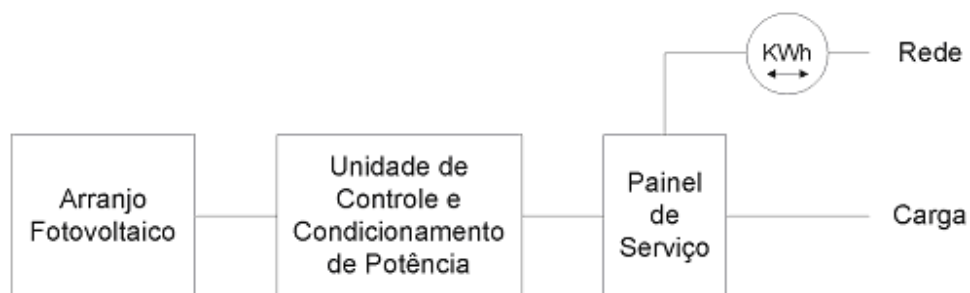


Figura 2-5: Esquema para medição única do balanço de energia

b) Medição Dupla

Aqui os medidores, que podem ser vistos na Figura 2-6, operam cada um num sentido, registrando assim separadamente a compra e a venda de energia à rede. Desta forma, valores diferentes podem ser atribuídos a cada uma das parcelas. Pode-se observar que a cada instante apenas um dos medidores estará em operação dependendo da diferença instantânea entre demanda e potência gerada pelo sistema. Este é o esquema utilizado quando existem incentivos governamentais como a tarifa *Feed-in*.

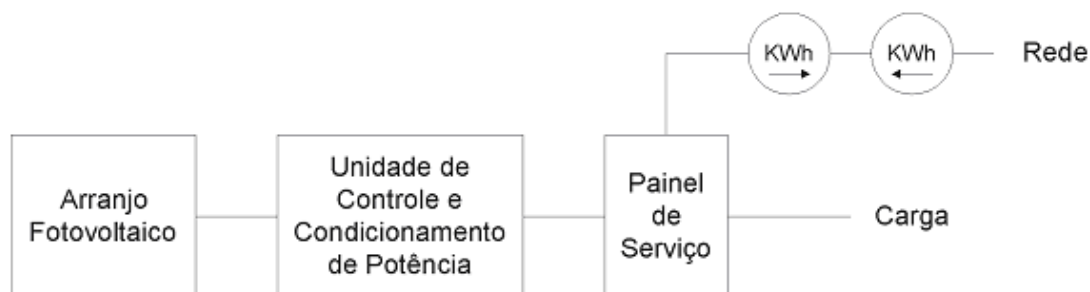


Figura 2-6: Esquema para medição dupla

c) Medições Simultâneas

Quando se deseja ter informações mais precisas sobre o consumo de energia e a produção do sistema fotovoltaico, deve-se adotar este tipo de medição. A Figura 2-7 mostra que a conexão do sistema à rede é feita independente do painel de serviço local, evitando qualquer interferência do circuito de consumo local com a produção e/ou tarifação da energia gerada. Por interesse do produtor fotovoltaico a caixa de junção deve garantir que toda a energia gerada possa fluir, garantindo que caso a rede não

esteja apta a receber esta energia, ela será computada e, portanto, comprada pela concessionária.

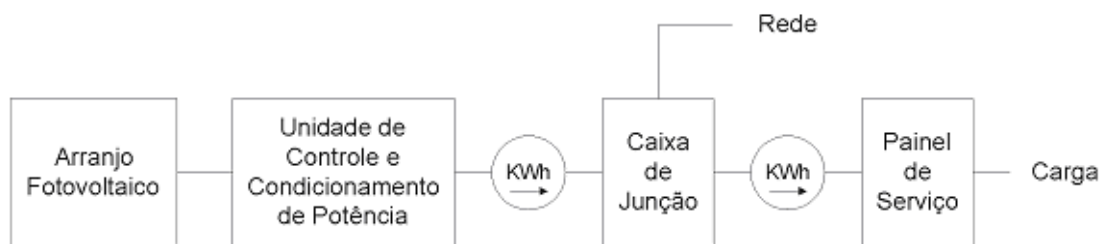


Figura 2-7: Esquema para medições simultâneas

Capítulo 3. Medidas de Eficiência Energética

Atualmente o homem necessita e depende cada vez mais da energia elétrica no ambiente residencial. A eletricidade está presente em nossa vida de forma bastante acentuada, isto porque novas tecnologias e métodos de fabricação tornam os eletrodomésticos mais acessíveis à compra.

Os eletrodomésticos têm facilitado em muito a vida da família moderna, por permitir que se tenha maior disponibilidade de tempo para o trabalho fora de casa. Exemplos destas comodidades são: a máquina de lavar roupa, a cafeteira, o forno de microondas e o aspirador de pó. Estes novos equipamentos lançados no mercado, associados às facilidades de compra, criaram novos hábitos de uso de aparelhos eletrodomésticos e levaram o consumo de energia elétrica residencial no Brasil a crescer algo em torno de 166% entre os anos de 1983 e 1998 (FURLANETTO e POSSAMAI, 2001). O aumento do consumo de energia elétrica implica obrigatoriamente no aumento da potência instalada de geração.

Na instalação de sistemas fotovoltaicos residenciais interligados à rede é importante otimizar o consumo energético da residência a fim de reduzir o custo do sistema.

Existem diversas medidas que podem aumentar a eficiência do uso da eletricidade em residências unifamiliares. No caso de novas edificações, essas medidas inicialmente estão relacionadas com: o projeto arquitetônico da residência, o projeto de sistemas com foco na eficiência energética e com a instalação de equipamentos com alta eficiência. Para a aplicação dessa última medida, programas como o PROCEL, INMETRO e *Energy Star* podem funcionar como um parâmetro para o consumidor, já que classificam os aparelhos elétricos quanto à eficiência e garantem a qualidade quanto aos níveis de consumo. Abaixo estão relacionados alguns exemplos destas medidas:

a) Projeto Arquitetônico:

- Orientação adequada da edificação;
- Uso de materiais com bom desempenho térmico e cores claras nas fachadas e internamente;

- Proteção das fachadas e janelas através de dispositivos de controle da insolação;
- Aproveitamento de iluminação e ventilação naturais;

b) Projeto de sistemas e escolha de equipamentos com foco na eficiência energética:

- Dimensionamento de condutores elétricos visando redução de perdas;
- Adoção de iluminação por tarefa;
- Aquecimento de água por energia solar;
- Uso de lâmpadas eficientes;
- Uso de equipamentos com etiqueta A do PROCEL.

No que diz respeito a edificações já existentes, também podem ser adotadas medidas que reduzam o consumo de energia. Estas medidas estão relacionadas com a redução do desperdício de energia, mudança de rotinas domésticas, substituição de equipamentos e melhorias na edificação.

c) Redução do desperdício de energia:

- Desligamento de aparelhos que não estão sendo utilizados;
- Desligamento de luzes em ambientes desocupados;
- Desligamento de aparelhos em *stand-by*;
- Otimização da disposição dos equipamentos no ambiente;

d) Mudança de Rotinas:

- Organização de tarefas como, por exemplo, acumular roupas para passar;
- Desligamento de aparelhos supérfluos (freezer; secadora de roupas);
- Diminuição do número de aparelhos similares ligados ao mesmo tempo, como por exemplo, com a reunião da família para assistir televisão juntos;
- Realização de mais atividades ao ar livre;

e) Substituição de equipamentos:

- Troca de aparelhos por outros mais eficientes;
- Troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas;

- Troca de aparelhos por modelos com selo PROCEL e *Energy Star*;
- Substituição de chuveiros elétricos por aquecimento de água solar ou a gás;
- Adequação do nível de iluminância e utilização de iluminação por tarefas.

f) Melhorias na edificação:

- Proteção das fachadas e pintura com cores claras;
- Troca dos vidros das janelas por vidros verdes ou vidros duplos com isolamento térmico;
- Substituição de telhas simples por telhas com isolamento térmico.

No estudo de caso apresentado no Capítulo Capítulo 5, algumas dessas medidas serão aplicadas à residência em estudo e os efeitos desta mudança no consumo de energia e no dimensionamento do sistema fotovoltaico serão analisados.

Capítulo 4. Ferramentas Desenvolvidas

4.1. Cálculo do Consumo de Energia

Esta ferramenta, desenvolvida em Excel, foi criada para auxiliar o usuário na estimativa de cálculo do consumo de energia de sua residência, sendo que os resultados obtidos para os consumos de energia podem também posteriormente serem usados no dimensionamento preliminar do sistema fotovoltaico. Para poder determinar a quantidade de energia fotovoltaica gerada pelos módulos que será consumida pela residência e a quantidade que será entregue à rede elétrica, o consumo de energia da residência deve ser estimado para cada hora do dia, simulando assim, o registro do medidor de energia. Se for utilizado apenas o valor acumulado ao longo do dia ou mês, o resultado obtido para a diferença entre a energia consumida da rede e a energia entregue à rede pelo sistema fotovoltaico não representará a realidade, e os resultados obtidos estarão incorretos.

A ferramenta simula o consumo de energia de hora em hora para um dia típico e para um dia de fim-de-semana. Como existe diferença nos hábitos de uso de equipamentos elétricos durante o ano, são simulados também consumos extras para cada mês, através de diferentes planilhas, para que o usuário possa entrar com dados de equipamentos elétricos característicos apenas daquele mês ou equipamentos que não se enquadram em um dia típico ou de fim-de-semana por serem utilizados apenas esporadicamente. Desta forma são feitas simulações para todos os meses do ano e é obtida a demanda anual de energia elétrica do usuário. Os seguintes dados de entrada devem ser fornecidos:

- Equipamentos em funcionamento a cada hora do dia;
- Quantidade de equipamentos iguais funcionando juntos;
- Potência de cada equipamento;
- Minutos de uso do equipamento a cada hora do dia;
- Dias de uso no mês de equipamentos esporádicos;
- Tarifa de consumo cobrada pela concessionária de energia.

Estes dados devem ser inseridos nas colunas apropriadas das planilhas “Dia Típico”, “Fim-de-Semana”, e nas planilhas nomeadas de acordo com cada mês do ano, que representam os consumos extras de cada mês. A partir dos dados fornecidos, o programa disponibiliza:

- Consumo de energia a cada hora do dia de um dia típico e de fim-de-semana;
- Consumo de energia total de um dia típico e de fim-de-semana;
- Curvas de carga de um dia típico e de fim-de-semana;
- Consumo de energia extra para cada mês do ano;
- Consumo de energia mensal total;
- Consumo de energia horário médio mensal;
- Curvas de carga mensais;
- Consumo de energia anual;
- Custo de energia mensal e anual.

O consumo de cada equipamento, em teoria, deveria ser um dado do fabricante, facilitando a escolha do consumidor na hora da compra. Porém, esta informação, quando existe, é fornecida de forma desorganizada, com unidades de medidas muitas vezes trocadas, não podendo, portanto ser utilizada de forma confiável. Devido a este problema, o cálculo do consumo de energia foi realizado da seguinte forma:

a) Consumo de um Dia Típico:

A cada hora do dia, o usuário deverá entrar com as informações referentes aos equipamentos que estarão em funcionamento naquela hora, como quantidade de aparelhos com as mesmas características, potência e minutos de uso do aparelho. Assim, o consumo de energia horário é calculado somando o consumo de todos os equipamentos que estão sendo usados naquela hora. O consumo total para um dia típico é feito somando os consumos horários de todos os equipamentos.

$$\text{Consumo horário de cada equipamento (Wh)} = \text{Número de equipamentos iguais} \times \text{Potência do equipamento (W)} \times \frac{\text{Minutos de uso a cada hora}}{60} (h)$$

$$\text{Consumo Horário Dia Típico (Wh)} = \Sigma \text{Consumo horário de cada equipamento (Wh)}$$

$$\text{Consumo Total Dia Típico (Wh)} = \Sigma \text{Consumo Horário Dia Típico (Wh)}$$

Esta fórmula, entretanto, não se aplica a aparelhos de ar-condicionado, geladeira e freezer, pois a refrigeração destes é feita por compressores, que não permanecem ligados o tempo todo. O tempo de funcionamento do compressor também não é um dado de fácil acesso pelo consumidor, e depende de muitas variáveis. Se a porta da geladeira ou freezer for aberta com muita frequência ou se estiver muito calor o compressor vai ligar mais vezes. O mesmo ocorre com o ar-condicionado. Em um dia mais quente o compressor vai ligar mais seguidamente para manter o ambiente refrigerado. No estudo de caso apresentado no Capítulo 5 foi considerado que o compressor de aparelhos de ar-condicionado funciona durante a metade do tempo de operação dos mesmos, e os compressores da geladeira e do freezer funcionam durante 12 horas por dia.

b) Consumo de um Dia de Fim-de-Semana:

Este cálculo é feito da mesma forma do cálculo de energia de um dia típico, onde o usuário disponibiliza os consumos estimados de uso de energia em sua residência para o fim-de-semana:

$$\text{Consumo horário de cada equipamento (Wh)} = \text{Número de equipamentos iguais} \times \text{Potência do equipamento (W)} \times \frac{\text{Minutos de uso a cada hora}}{60} (h)$$

$$\text{Consumo Horário Fim - de - Semana (Wh)} = \Sigma \text{Consumo horário de cada equipamento (Wh)}$$

$$\text{Consumo Total Fim - de - Semana (Wh)} = \Sigma \text{Consumo Horário Fim - de - Semana (Wh)}$$

c) Consumos Extras de Cada Mês:

Este cálculo é feito para cada mês do ano, da mesma forma dos consumos de um dia típico e de fim-de-semana, com a diferença que o usuário deve fornecer também o número de dias no mês que o equipamento é utilizado.

$$\text{Consumo horário de cada equipamento (Wh)} = \text{Número de equipamentos iguais} \times \text{Potência do equipamento (W)} \times \frac{\text{Minutos de uso a cada hora}}{60} (\text{h}) \times \text{Dias de uso no mês}$$

$$\text{Consumo Horário Extra (Wh)} = \Sigma \text{Consumo horário de cada equipamento (Wh)}$$

$$\text{Consumo Extra Total (Wh)} = \Sigma \text{Consumo Horário Extra (Wh)}$$

d) Consumo Mensal:

O consumo mensal total foi calculado assumindo-se que na média, cada mês possui quatro fins-de-semana, portanto o consumo estimado para um dia de fim-de-semana deve ser multiplicado por oito e o consumo estimado para um dia típico deve ser multiplicado pelo restante dos dias do mês, somando estes resultados aos consumos extras de cada mês:

$$\text{Consumo Mensal Total (kWh)} = (\text{Consumo Total Fim - de - Semana (kWh)} \times 8) + (\text{Consumo Total Dia Típico (kWh)} \times (N^{\circ} \text{ dias mês} - 8)) + (\text{Consumos Extras Totais (kWh)})$$

O cálculo do consumo mensal está disponibilizado nas planilhas nomeadas para cada mês do ano, em Wh e Kwh.

e) Consumo Médio Horário Mensal:

A partir do consumo mensal total é calculado o consumo horário médio mensal, dividindo o consumo mensal total pelo número de dias daquele mês. Estes valores se encontram nas planilhas de cada mês e estão representados também por gráficos de curva de carga.

f) Consumo Anual:

O consumo anual obtido é simplesmente o somatório dos consumos mensais totais, e pode ser encontrado na planilha “Anual” do programa:

$$\text{Consumo Anual (kWh)} = \Sigma \text{Consumos Mensais Totais (kWh)}$$

Esta planilha fornece também o custo mensal e anual de energia elétrica, que pode ser encontrado pela multiplicação do consumo mensal pela tarifa de energia cobrada pela concessionária.

Se o usuário desejar também comparar o consumo de energia da sua residência antes e após a implementação de medidas de eficiência energética, poderá fazê-lo na planilha “Eficientização”. Nesta planilha os valores de consumo antes da efficientização da residência são inseridos nas células amarelas da esquerda, e os valores de consumo obtidos após a efficientização inseridos nas células amarelas da direita. Fornecendo a tarifa de energia da rede elétrica e o investimento feito para a realização das medidas de eficiência energética, é possível encontrar o tempo de retorno para o investimento pela economia de energia obtida com a redução do consumo de energia. Este tempo de retorno é calculado pelo método do *Payback* descontado, que será explicado com detalhes na descrição da ferramenta de dimensionamento no item 4.2.

A ferramenta fornece ainda uma vasta lista de opções de aparelhos elétricos e de suas potências típicas para orientação do usuário, que assim pode escolher os valores que melhor representam sua residência. Esta lista se encontra na planilha “Potências” do da ferramenta, contendo as informações de equipamentos e suas respectivas potências (menor e maior valor encontrado) e tensões, e está representada na Tabela 4-1.

Tabela 4-1: Equipamentos elétricos disponíveis na ferramenta de cálculo de consumo

Equipamento Elétrico	Potência (W)	Tensão (V)
Adega de vinhos	48 - 145	110/220
Aparelho de DVD	8 - 50	110/220
Aparelho de fax	27 - 100	bivolt
Aparelho de fondue	1000	110/220
Aparelho de som portátil	10 - 20	bivolt
Aparelho de som <i>microsystem</i>	15 - 60	bivolt
Aparelho de som <i>minisystem</i>	65 - 430	bivolt
Aparelhos em <i>stand-by</i>	0,1 - 30	110/220
Aquecedor de ambiente	800 - 2000	110/220
Aquecedor de mamadeira	80 - 90	110/220
Ar-condicionado Split 6.000 a 12.000 BTUs	630 - 2300	220

Tabela 4-1: Equipamentos elétricos disponíveis na ferramenta de cálculo de consumo (continuação)

Equipamento Elétrico	Potência (W)	Tensão (V)
Ar-condicionado Split 18.000 a 24.000 BTUs	1200 - 7000	220
Ar-condicionado Split até 30.000 BTUs	3000 - 3400	220
Ar-condicionado 5.000 a 8.500 BTUs	530 - 900	110/220
Ar-condicionado 9.000 a 10.000 BTUs	900 - 1000	110/220
Ar-condicionado 12.000 a 18.000 BTUs	1100 - 2200	110/220
Ar-condicionado 21.000 a 30.000 BTUs	2200 - 3800	110/220
Aspirador de pó	800 - 1600	110/220
Aspirador de pó portátil	100	110/220
Barbeador	3 - 9	110/220
Batedeira	100 - 373	110/220
Bebedouro	70 - 420	110/220
<i>Boiler</i> 50 e 60 L	1500	110/220
<i>Boiler</i> 100 L	2030	110/220
<i>Boiler</i> 200 a 500 L	3000	110/220
Bomba d'água ¼ CV	335	110/220
Bomba d'água ½ CV	613	110/220
Bomba d'água ¾ CV	849	110/220
Bomba d'água 1 CV	1051	110/220
Bomba de aquário grande	10	110/220
Bomba de aquário pequena	5	110/220
Cafeteira elétrica	500 - 1500	110/220
Câmera de segurança	2 - 10	110/220
Carregador de celular	10 - 36	bivolt
Carregador de pilhas	30 - 190	bivolt
Centrifuga/ <i>Juicer</i>	220 - 800	110/220
Churrasqueira	400 - 2000	110/220
Chuveiro elétrico	4400 - 7500	110/220
Circulador de ar	50 - 150	110/220
Coifa	70 - 550	110/220

Tabela 4-1: Equipamentos elétricos disponíveis na ferramenta de cálculo de consumo (continuação)

Equipamento Elétrico	Potência (W)	Tensão (V)
<i>Cooktop</i>	1200 - 7400	110/220
Cortador de cabelo	10	110/220
Cortador de grama grande	1050 - 2500	bivolt
Cortador de grama pequeno	350 - 700	110/220
Decodificador Televisão	30 - 90	Bivolt
Depilador	3 - 13	bivolt
Depurador de ar	75 - 480	110/220
Desumidificador de ar	750 - 2000	110/220
Enceradeira	250 - 300	110/220
Espremedor de frutas	15 - 70	110/220
Esteira elétrica	340 - 900	110/220
Faca elétrica	100 - 130	110/220
Fatiador de frios	150	110/220
Ferro de solda	25 - 70	110/220
Ferro elétrico	800 - 2300	110/220
Fogão comum	40	110/220
Forno a resistência	650 - 2400	110/220
Forno elétrico de embutir	1750 - 3600	110/220
Forno microondas	1200 - 1620	110/220
<i>Freezer</i> vertical/horizontal	80 - 200	110/220
Frigobar	30 - 80	110/220
Fonte de chocolate	70 - 170	110/220
Fragmentadora de papel	100 - 300	110/220
Fritadeira elétrica	840 - 1800	110/220
Geladeira 1 porta	90 - 120	110/220
Geladeira 2 portas <i>Frost Free</i>	60 - 165	110/220
Geladeira <i>Side by side</i>	120 - 210	110/220
<i>Grill</i>	600 - 2000	110/220
<i>Home Theater</i>	30 - 140	Bivolt

Tabela 4-1: Equipamentos elétricos disponíveis na ferramenta de cálculo de consumo (continuação)

Equipamento Elétrico	Potência (W)	Tensão (V)
Impressora	20 - 400	110/220
Iogurteira	8 - 13	110/220
Lâmpada Incandescente	25 - 200	110/220
Lâmpada Fluorescente	5 - 42	110/220
Laptop	60 - 90	bivolt
Liquidificador	350 - 800	110/220
Lixadeira	135 - 1400	110/220
Máquina de furar	400 - 700	110/220
Máquina de gelo	150	110/220
Máquina de lavar louça	1260 - 3600	110/220
Máquina de lavar roupas	400 - 1500	110/220
Martelo Pneumático	650	110/220
Massageador	11 - 18	110/220
Microcomputador	120 - 250	bivolt
Moedor de café	150	110/220
Multiprocessador	200 - 500	110/220
Nebulizador	12 - 80	Bivolt
Panela elétrica	270 - 1300	110/220
Panificadora	600 - 800	110/220
Pipoqueira	500 - 1200	110/220
Pistola de cola elétrica	10 - 60	110/220
Porteiro eletrônico	3 - 18	bivolt
Prancha alisadora/chapinha	25 - 120	110/220
Purificador de ar	5 - 60	110/220
Purificador de água	85 - 420	110/220
Radio relógio	6	Bivolt
Roteador <i>Wireless</i>	10 - 15	110/220
Secador de cabelo	800 - 2100	110/220
Secadora de roupas	1000 - 4550	110/220

Tabela 4-1: Equipamentos elétricos disponíveis na ferramenta de cálculo de consumo (continuação)

Equipamento Elétrico	Potência (W)	Tensão (V)
Secretaria eletrônica	20	110/220
Serra elétrica	150 - 1800	110/220
Sorveteira	10 - 50	110/220
Telefone sem fio	4 - 10	bivolt
Televisão LCD	75 - 330	bivolt
Televisão Plasma	180 - 450	bivolt
Televisão Tela Plana	50 - 140	bivolt
Televisão Convencional	2,5 - 125	bivolt
Torneira elétrica	4400 - 5500	110/220
Torradeira	500 - 1200	110/220
Ventilador pequeno	16 - 100	110/220
Ventilador grande	125 - 270	110/220
Ventilador de teto	90 - 150	110/220
Videocassete	10 - 25	110/220
<i>Videogame</i>	80	110/220

Os dados de potência e consumo dos equipamentos elétricos foram obtidos através do site do PROCEL (<http://www.eletronbras.gov.br/procel/>) e de pesquisa em sites de vendas na internet realizadas durante o mês de junho de 2008. Foram utilizados os sites das Lojas Americanas (<http://www.americanas.com.br>), Shoptime (<http://www.shoptime.com.br>), Ponto Frio (<http://www.pontofrio.com.br>) e Casa & Vídeo (<http://www.casaevideo.com.br>). Para as informações sobre lâmpadas descritas neste item e no item 4.3 serviram como fonte também os sites das lojas Casa & Construção (<http://www.cec.com.br>), Bazar 339 (<http://www.bazar339.com.br>) e Tok & Stok (<http://www.tokstok.com.br>).

4.2. Dimensionamento Preliminar do Sistema Fotovoltaico

O dimensionamento preliminar do sistema fotovoltaico realizado por esta ferramenta consiste na determinação do número de módulos que irão compor o sistema e no cálculo do tempo de retorno para o investimento na implantação do sistema. Não é escopo da ferramenta o detalhamento do projeto necessário para a instalação do sistema fotovoltaico, mas apenas seu dimensionamento básico.

Além dos consumos de energia elétrica da residência, que podem ser calculados através da ferramenta descrita no item 4.1, são necessários para o dimensionamento preliminar do sistema fotovoltaico dados como a radiação solar horária média mensal incidente no local da instalação, a área disponível para a instalação, e características dos módulos fotovoltaicos escolhidos para integrar o sistema, que podem ser obtidas pelo catálogo do fabricante. Em Excel foi desenvolvido um método de cálculo genérico, que auxilia quem desejar instalar um sistema fotovoltaico em sua residência.

Os dados de entrada, que devem ser inseridos nas células de cor amarela, estão listados a seguir:

- Consumos de energia horários mensais para um ano;
- Tarifa cobrada pela concessionária de energia;
- Tarifa *Feed-in*¹;
- Custo de novos equipamentos²;
- Área disponível para instalação do sistema fotovoltaico;
- Eficiência do módulo;

¹ Com o dado de entrada tarifa *Feed-in*, é possível simular diferentes cenários de incentivo a geração de energia fotovoltaica. O usuário tem a opção de calcular o tempo de retorno do investimento em um sistema que teria garantia de compra pela concessionária do excesso de energia gerada.

² Este campo fornece informações necessárias para a utilização da ferramenta para o cálculo do tempo de retorno do investimento na troca de equipamentos para aumento da eficiência energética residencial, conforme será descrito no Capítulo 5.

- Área do módulo com moldura;
- Área do módulo sem moldura;
- Potência de pico do módulo;
- Eficiência do sistema inversor;
- Número de módulos utilizados;
- Taxa de desconto por período de tempo.

A quantidade de radiação incidente no local da instalação foi obtida através do programa RADIASOL, desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da UFRGS e disponível para *download* na página da internet <http://www.ufrgs.br>. Os valores de radiação para cada mês do ano estão expressos em Wh/m^2 , e são uma média mensal da radiação horária incidente ao longo de um dia na cidade do Rio de Janeiro, considerando uma inclinação de valor igual à latitude do local, ou seja, de 22° . Na Tabela 4-2 encontram-se as médias mensais das radiações horárias disponibilizadas pelo programa na planilha “Radiações”, sendo que o total acumulado, disponibilizado na última linha da Tabela 4-2, está representado também na Figura 4-1. O usuário tem a opção também de substituir os dados fornecidos pelo programa por outros valores de radiações horárias medias mensais de sua preferência.

Para determinar o quanto da energia produzida pelo sistema é efetivamente consumido pela edificação, e o quanto será injetado na rede, é necessário encontrar a média dos consumos de energia horários mensais. Como os valores de radiação mensais estão disponibilizados na forma horária, e são a média dos valores obtidos para todo o mês, a energia gerada pelo sistema também será disponibilizada desta forma, pois esta é o produto da radiação solar incidente no módulo pela área do mesmo. Portanto, o consumo de energia da edificação também deve estar neste formato. O usuário pode inserir os valores dos consumos horários mensais de energia da edificação e o programa calculará a média, dividindo estes valores pelo número de dias do mês.

Tabela 4-2: Radiações Solares Horárias para o período de um ano

Hora	Radiações Solares Mensais (Wh/m ²)												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
0:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	17	3
6:30	125	101	69	27	0	0	0	16	43	79	108	125	58
7:30	274	257	225	158	139	105	137	155	172	215	245	265	196
8:30	438	434	412	320	319	260	325	332	326	372	397	418	363
9:30	581	590	584	482	504	427	519	511	477	515	531	551	523
10:30	677	695	701	600	644	559	666	643	583	612	623	642	637
11:30	729	750	759	658	716	628	742	709	635	662	671	690	696
12:30	729	750	759	658	716	628	742	709	635	662	671	690	696
13:30	677	695	701	600	644	559	666	643	583	612	623	642	637
14:30	581	590	584	482	504	427	519	511	477	515	531	551	523
15:30	438	434	412	320	319	260	325	332	326	372	397	418	363
16:30	274	257	225	158	139	105	137	155	172	215	245	265	196
17:30	125	101	69	27	0	0	0	16	43	79	108	125	58
18:30	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	17	3
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	5.670	5.654	5.500	4.490	4.644	3.958	4.778	4.732	4.472	4.910	5.154	5.416	4.948

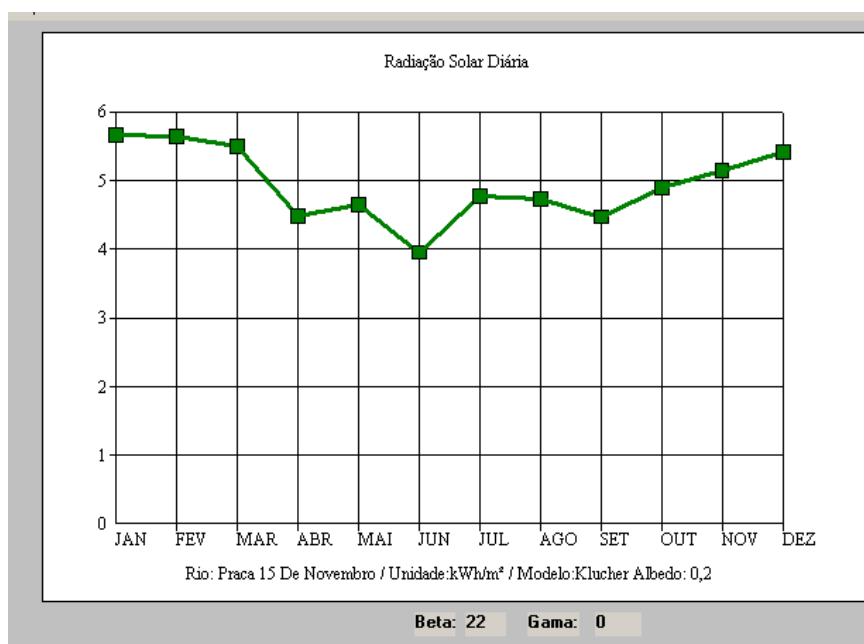


Figura 4-1: Radiações solares para o período de um ano na cidade do Rio de Janeiro (Fonte: programa RADIASOL)

A quantidade de energia gerada pelo sistema fotovoltaico depende da área do módulo e da eficiência do mesmo. Contudo, alguns aspectos precisam ser considerados. O primeiro deles é a eficiência do sistema inversor, que usualmente possui valor típico de 90% (SALAMONI *et al.*, 2004), e deve ser incluída no cálculo da energia elétrica que é entregue pelo sistema ao consumidor. O segundo é o fato de que cada módulo possui uma moldura em sua estrutura, portanto a área utilizada no cálculo da geração de energia não é a área total do módulo, e sim a área sem moldura.

Em projetos fotovoltaicos isolados, o sistema é dimensionado em função da demanda de consumo que se deseja atender. Como o sistema fotovoltaico neste projeto está interligado à rede, não há necessidade de que toda a carga demandada pela residência seja atendida, pois o que o sistema não suprir, o consumidor pode obter da concessionária de energia. Portanto, a escolha do fator determinante para o dimensionamento do sistema fica a critério do usuário. Este fator pode ser a área disponível para a instalação dos painéis solares, o preço que o consumidor está disposto a pagar pelo sistema ou ainda o tempo de retorno desejado para o investimento.

Através dos dados fornecidos pelo usuário, a ferramenta disponibiliza as seguintes informações:

- Consumo horário médio mensal;
- Geração horária média mensal de energia fotovoltaica;
- Custo de energia elétrica antes da instalação do sistema;
- Diferença entre consumo e geração de energia para cada hora do dia;
- Custo de energia elétrica após a instalação do sistema;
- Valor recebido pela energia injetada na rede (quando há incentivos à geração fotovoltaica);
- Potência instalada do sistema fotovoltaico;
- Área útil de geração de energia;
- Área total utilizada na instalação;
- Número máximo de módulos;
- Preço total da instalação dos módulos;
- Tempo de retorno do investimento.

A seguir estão descritas as fórmulas empregadas no dimensionamento preliminar de um sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica. Estas fórmulas foram baseadas em (SALAMONI *et al.*, 2004).

a) Área útil de geração de energia elétrica:

A área que efetivamente será responsável pela geração de energia elétrica é aquela sem considerar a moldura dos módulos, ou seja:

$$\text{Área Útil (m}^2\text{)} = \text{Número de módulos} \times \text{Área do módulo sem moldura (m}^2\text{)}$$

b) Área total utilizada:

A área total que será ocupada pelo sistema é aquela considerando a moldura dos módulos, ou seja:

$$\text{Área Total (m}^2\text{)} = \text{Número de módulos} \times \text{Área do módulo com moldura (m}^2\text{)}$$

c) Potência instalada do sistema fotovoltaico:

A potência instalada do sistema será o número de módulos multiplicado pela potência de cada módulo:

$$Potência\ Instalada\ (kWp) = \frac{Número\ de\ módulos\ x\ Potência\ de\ cada\ módulo\ (Wp)}{1.000}$$

d) Energia gerada pelo sistema fotovoltaico:

- **Energia horária:**

A energia gerada pelo sistema fotovoltaico para cada hora do dia é obtida pela multiplicação da radiação solar incidente no local da instalação naquela hora pela área útil total do sistema. A energia que será efetivamente entregue ao consumidor deve ser multiplicada também pelas eficiências do sistema inversor e do módulo fotovoltaico:

$$Geração\ Horária\ (kWh) = \frac{Radiação\ Solar\ Horária\ (Wh/m^2)}{1.000} \times Área\ Útil\ (m^2) \times \\ \times \frac{Eficiência\ Módulo\ (\%)}{100} \times \frac{Eficiência\ Inversor\ (\%)}{100}$$

- **Energia diária gerada pelo sistema fotovoltaico:**

A geração de energia diária é encontrada pelo somatório da energia horária gerada:

$$Energia\ Diária\ (kWh) = \Sigma\ Energias\ Horárias\ (kWh)$$

e) Consumo horário médio mensal de energia:

O consumo horário mensal é dividido pelo número de dias do mês para encontrar a média que será utilizada na comparação com a energia gerada pelo sistema.

$$Consumo\ Horário\ Médio\ Mensal\ (kWh) = \frac{Consumo\ Horário\ Mensal\ (kWh)}{número\ de\ dias\ do\ mês}$$

f) Custo da energia antes da instalação do sistema:

É o valor que o consumidor pagava pela conta de luz antes do sistema fotovoltaico ser instalado na edificação. A tarifa de energia da rede elétrica é multiplicada ao consumo horário mensal e o somatório deste resultado é o custo mensal de energia elétrica. Este valor será comparado com o custo de energia após a instalação

do sistema para obter a economia de energia alcançada pela utilização da energia fotovoltaica na edificação.

$$\begin{aligned} \text{Custo de energia mensal antes da instalação do sistema (kWh)} = \\ \Sigma(\text{Consumo Horário Mensal (kWh)} \times \text{Tarifa da rede (R\$/kWh)}) \end{aligned}$$

g) Diferença entre geração de energia fotovoltaica e consumo de energia da edificação:

Para simular o registro do medidor de energia e determinar o quanto da energia gerada pelo sistema fotovoltaico será injetado na rede, deve-se subtrair a cada hora do dia a energia gerada pelo consumo da edificação. Quando o valor encontrado for negativo, significa que a diferença obtida está sendo consumida da rede elétrica, e quando a diferença for positiva, significa que este excesso está sendo entregue à rede pelo sistema.

$$\begin{aligned} \text{Diferença horária entre geração e consumo (kWh)} = \\ \text{Geração Horária de Energia (kWh)} - \text{Consumo Horário Mensal (kWh)} \end{aligned}$$

h) Custo da energia após a instalação do sistema:

Como a energia consumida da rede é agora apenas aquela necessária para suprir a demanda da edificação quando a geração do sistema não for suficiente e durante a noite, o custo mensal de energia elétrica será o produto da tarifa de energia da rede pela diferença entre a geração do sistema e o consumo da edificação que possuir valor positivo:

$$\begin{aligned} \text{Custo de energia mensal após a instalação do sistema (R\$)} = \\ \Sigma(\text{Diferença horária entre geração e consumo positiva (kWh)}) \times \text{Tarifa da rede (R\$/kWh)} \end{aligned}$$

i) Valor recebido pela energia injetada na rede:

Como dito anteriormente, quando a diferença entre geração e consumo de energia é negativa, esta diferença é entregue à rede elétrica. Se existirem incentivos praticados à geração fotovoltaica, este excesso será remunerado pela concessionária de energia, com tarifa *Feed-in* estipulada pelo governo. O total obtido mensalmente é o somatório das diferenças entre geração e consumo horários pela tarifa *Feed-in* praticada. Quando não houver nenhum incentivo praticado, o valor é zero.

Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$) =
 $\Sigma(\text{Diferença horária entre geração e consumo negativa (kWh)}) \times \text{Tarifa Feed-in (R\$/kWh)}$

j) Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica:

A economia obtida pela instalação do sistema é a diferença entre o custo de energia elétrica antes e depois da instalação do sistema:

Economia obtida (R\$) = Custo de energia mensal antes da instalação do sistema (R\$) -
Custo de energia mensal após a instalação do sistema (R\$)

k) Lucro total obtido pela instalação do sistema:

O lucro total obtido mensalmente é a soma da economia feita pela redução do custo mensal de energia elétrica pago à rede com o valor recebido mensalmente pela energia fotovoltaica injetada na rede, sendo que, quando não existirem incentivos à geração fotovoltaica, o lucro será somente a economia pela redução do custo de energia.

Lucro Total (R\$) = Economia Obtida (R\$) + Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)

l) Número máximo de módulos que podem ser instalados:

Como a área disponível para instalação de um sistema fotovoltaico urbano é limitada, o número máximo de módulos que poderão integrar o sistema será a área disponível dividida pela área de cada módulo com moldura.

$$\text{Número máximo de módulos} = \frac{\text{Área Disponível (m}^2\text{)}}{\text{Área do módulo com moldura (m}^2\text{)}}$$

No caso do valor encontrado para o número máximo de módulos não ser um valor inteiro, este será arredondado para baixo, pois o módulo não deve ser instalado sem o devido suporte, isto é, a área utilizada deve ser capaz de acomodar os módulos com segurança.

m) Preço dos Módulos Fotovoltaicos

Não existem atualmente no Brasil informações disponíveis para o consumidor comum sobre preços de módulos e custo de instalação dos mesmos. Por este motivo será adotado o valor empregado nos Estados Unidos, de US\$7,00/Wp (IEA, 2007), que após considerar os custos de importação e impostos pode ser estimado em US\$10,00 por Watt instalado no Brasil. Este valor inclui o preço do módulo e da instalação. O custo

do investimento nos módulos fotovoltaicos será então convertido para a moeda brasileira, onde o usuário pode entrar com a taxa de câmbio que desejar. As fórmulas que determinam os preços dos módulos em dólares e reais são, portanto:

$$\text{Preço Total dos Módulos (US\$)} = \text{US\$10/Wp} \times \text{Potência Instalada do Sistema (kWp)}$$

$$\text{Preço Total dos Módulos (R\$)} = \text{Taxa de Câmbio} \times \text{Preço Total dos Módulos (US\$)}$$

n) Investimento Inicial:

O investimento inicial para a instalação do sistema fotovoltaico será o preço total dos módulos somado ao preço total de novos equipamentos adquiridos como medida de eficiência energética. Caso não haja medida, o investimento inicial será somente o preço pago pelos módulos.

$$\text{Investimento Inicial (R\$)} = \text{Preço Total dos Módulos (R\$)} + \text{Preço de Novos Equipamentos (R\$)}$$

o) Tempo de Retorno do Investimento:

Para calcular o tempo de retorno do investimento, foi utilizado o método do *Payback* descontado, que funciona como o método do *Payback* simples, com a diferença de considerar o valor do dinheiro no tempo, o que torna o cálculo mais exato. O valor do dinheiro no tempo representa o custo de oportunidade do investimento, ou seja, o retorno que o investidor teria ao aplicar o recurso financeiro em outro investimento de risco semelhante. Ao investir no sistema fotovoltaico, o proprietário deve ter em mente a comparação do investimento alternativo. No caso do investidor residencial, pode-se ter como parâmetro a poupança, cuja taxa de retorno está em 10%, sendo esta, portanto, a taxa de desconto utilizada no estudo de caso.

O método do *Payback* Descontado calcula o tempo de retorno ajustando os fluxos de caixa pela taxa de desconto. Primeiramente, encontra-se o valor do fluxo de caixa através do tempo, chamado fluxo ajustado, ou seja, considerando a taxa de desconto a cada período. Depois, calcula-se o fluxo acumulado ajustado, que é o valor do fluxo ajustado de cada período somado ao investimento inicial. Como o fluxo inicial possui valor negativo, sabe-se que o investimento começará a dar lucro quando o fluxo acumulado ajustado passar a apresentar valor positivo. Pode-se então encontrar o tempo de retorno observando em qual período o fluxo acumulado ajustado deixou de ter valor

negativo. As fórmulas empregadas no método do *Payback* Descontado estão apresentadas a seguir.

○ **Fluxo ajustado:**

$$\text{Fluxo Ajustado (R\$)} = \frac{\text{Fluxo de Caixa (R\$)}}{\left(1 + \frac{\text{Taxa de Desconto (\%)}}{100}\right)^n}$$

Onde n é o período de tempo, que pode ser meses, anos, etc.

○ **Fluxo acumulado ajustado:**

$$\text{Fluxo Acumulado Ajustado (R\$)} = \text{Investimento Inicial (R\$)} + \text{Fluxo Ajustado (R\$)}$$

○ **Tempo de Retorno:**

$$\text{Tempo de Retorno (anos)} = i + \frac{\text{Fluxo Acumulado Ajustado (i) (R\$)}}{\text{Fluxo Ajustado (i + 1) (R\$)}}$$

Onde i é o último ano com fluxo acumulado ajustado de valor negativo.

○ **Exemplo de aplicação do método:**

Um investimento de R\$100,00 é realizado, obtendo a cada período um lucro de R\$30,00. Utilizando uma taxa de desconto anual de 10%, o fluxo ajustado e o fluxo acumulado ajustado são encontrados como mostra a Tabela 4-3.

Tabela 4-3: Exemplo de cálculo de retorno de um investimento pelo método do *Payback* descontado

Ano	Taxa de Desconto(%)	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo Ajustado (R\$)	Fluxo Acumulado Ajustado (R\$)
0	-	-100,00	-	-100,00
1	10	30,00	27,27	-72,73
2	10	30,00	24,79	-47,93
3	10	30,00	22,54	-25,39
4	10	30,00	20,49	-4,90
5	10	30,00	18,63	13,72
6	10	30,00	16,93	30,66
7	10	30,00	15,39	46,05
8	10	30,00	14,00	60,05
9	10	30,00	12,72	72,77
10	10	30,00	11,57	84,34

O retorno do investimento está entre os anos 4 e 5, como é possível observar pelo fluxo acumulado ajustado. O valor exato do tempo de retorno é proporcional à relação entre o último valor negativo e o fluxo ajustado no ano seguinte. No exemplo acima, o valor exato do tempo de retorno é igual a:

$$\text{Tempo de Retorno}(anos) = 4 + \frac{4,90}{18,63} = 4,25$$

Na ferramenta aqui apresentada, foi utilizada a função NPER, disponibilizada em Excel, que realiza automaticamente os cálculos necessários para determinar o *Payback* descontado, sendo necessário fornecer apenas a taxa de desconto, o investimento inicial e o fluxo de caixa anual. Entretanto, o tempo de retorno para este projeto foi calculado somente até 30 anos após a data de aquisição dos módulos fotovoltaicos, pois este é o período estimado para a vida útil dos módulos.

4.3. Análise do Nível de Iluminância do Ambiente

A iluminação da residência é um fator que deve ser observado com muita atenção. Além da escolha da lâmpada correta ser essencial para o conforto visual dos usuários, também pode contribuir muito para a economia de energia elétrica. Para garantir que a lâmpada escolhida esteja adequada para a função desempenhada, é preciso determinar o nível de iluminância presente em cada ambiente.

Iluminância é o fluxo luminoso (lúmen) incidente numa superfície por unidade de área (m²). Sua unidade é o lux. Um lux corresponde à iluminância de uma superfície plana de um metro quadrado de área, sobre a qual incide perpendicularmente um fluxo luminoso de um lúmen. A iluminância também pode ser explicada como sendo uma densidade de luz necessária para a realização de uma determinada tarefa visual. Os valores relativos à iluminância estão tabelados por tipo de atividade, usando como referência pesquisas realizadas com diferentes níveis de iluminação, e podem ser encontrados na norma NBR 5413 – Iluminância de interiores.

Na Tabela 4-4 estão representados os níveis de iluminância recomendados para residências, segundo a norma NBR 5413.

Tabela 4-4: Níveis de iluminância recomendados para residências

Ambiente	Iluminação Geral (lux)	Iluminação Local (lux)
Sala	100 - 150 - 200	300 - 500 - 750
Cozinha	100 - 150 - 200	200 - 300 - 500
Quarto de Dormir	100 - 150 - 200	200 - 300 - 500
Banheiro	100 - 150 - 200	200 - 300 - 500
Hall	75 - 100 - 150	200 - 300 - 500
Escada	75 - 100 - 150	200 - 300 - 500
Despensa	75 - 100 - 150	200 - 300 - 500
Garagem	75 - 100 - 150	200 - 300 - 500

Para este projeto não serão utilizados métodos mais complexos para o cálculo da iluminância, como o método dos lúmens ou das cavidades zonais, pois estes são baseados em iluminâncias para ambientes com atividades específicas de trabalho, onde são considerados aspectos como cores das paredes e do teto, tipo de luminária e tipo de lâmpadas utilizadas, retornando valores muito acima do necessário para um ambiente residencial. Por este motivo, foi desenvolvida em Excel uma planilha de aplicação genérica que pode ser usada para determinar o nível de iluminância para cada ambiente de uma residência, com metodologia de cálculo baseada no programa RETScreen.

O usuário pode comparar os níveis de iluminância já existentes em sua residência com uma condição hipotética desejada. Para isto, foram criadas duas planilhas: “Condição Base” e “Condição Proposta”. A primeira considera uma condição de referência, onde o usuário fornece dados presentes na sua residência, e a segunda considera uma condição alternativa, onde o usuário entra com valores que deseja usar para substituir os já existentes. Os seguintes dados devem ser fornecidos pelo usuário nas células de cor amarela:

- Área do cômodo;
- Potência da lâmpada;
- Quantidade de lâmpadas em cada cômodo;
- Fluxo luminoso da lâmpada (dado fornecido pelo fabricante);
- Tipo de lâmpada utilizada;
- Preço da lâmpada;
- Número de Unidades (número de cômodos com a mesma área);

- Iluminância ideal para o tipo de ambiente (o usuário escolhe o valor adequado baseado em uma tabela incluída na planilha que contém os níveis de iluminância determinados pela norma NBR 5413).

Através destes dados, que podem ser encontrados nas embalagens das lâmpadas, é possível obter informações que permitem escolher a lâmpada mais adequada para cada ambiente. Além da iluminância, também são calculados aspectos importantes para promover a eficiência da iluminação como um todo. Estes aspectos incluem:

- Iluminância real encontrada em cada cômodo da residência;
- Relação entre a iluminância real e a iluminância ideal para o ambiente de acordo com a norma NBR 5413 (variância);
- Eficiência da lâmpada em estudo;
- Quantidade indicada de lâmpadas para obter a iluminância desejada;
- Potência total das lâmpadas;
- Investimento inicial (condição proposta);
- Custo anual de manutenção;

As fórmulas empregadas nas planilhas estão listadas a seguir:

a) Iluminância real do ambiente:

$$Iluminância (lux) = \frac{Fluxo Luminoso (lm)}{Área (m^2)}$$

b) Quantidade indicada de lâmpadas:

$$Quantidade indicada = \frac{Iluminância (lux) \times Área (m^2)}{Fluxo luminoso (lm)}$$

c) Variância:

$$Variância (\%) = \frac{(Iluminância real (lux) - Iluminância ideal (lux)) \times 100}{Iluminância ideal (lux)}$$

d) Eficiência da lâmpada:

$$\text{Eficiência (lm/W)} = \frac{\text{Fluxo luminoso (lm)}}{\text{Potência da lâmpada (W)}}$$

e) Potência total:

$$\text{Potência Total (W)} = \text{Potência da lâmpada (W)} \times \text{quantidade} \times \text{número de unidades}$$

f) Investimento Inicial (somente para a condição proposta):

$$\text{Investimento Inicial (R\$)} = \text{Preço da lâmpada (R\$)} \times \text{quantidade} \times \text{número de unidades}$$

g) Custo de Manutenção Anual:

A vida mediana da lâmpada incandescente é considerada em torno de 1.000 horas. Isto equivale aproximadamente a uma troca de lâmpada por ano, para esta tecnologia. Já lâmpadas fluorescentes compactas, por exemplo, possuem vida média de 8.000 horas, portanto a troca de lâmpadas ocorre aproximadamente a cada oito anos. Para estimar o custo anual de manutenção de qualquer tipo de lâmpada, o seguinte cálculo é realizado:

$$\text{Custo de Manutenção Anual (R\$)} = \frac{\text{Preço da lâmpada (R\$)} \times \text{quantidade} \times \text{n}^{\circ} \text{ de unidades}}{\frac{\text{Vida média da lâmpada (horas)}}{1.000}}$$

Desta forma, para o caso de uma lâmpada fluorescente compacta o custo anual de manutenção ficaria:

$$\text{Custo de Manutenção Anual (R\$)} = \frac{\text{Preço da lâmpada (R\$)} \times \text{quantidade} \times \text{n}^{\circ} \text{ de unidades}}{8}$$

Se desejar, o usuário pode calcular o tempo de retorno do investimento na compra de lâmpadas mais eficientes para sua residência. Na planilha “Retorno” o usuário fornece nas células amarelas os valores de consumo antes e depois da substituição das lâmpadas por modelos eficientes, o investimento feito na aquisição das lâmpadas e a tarifa de energia da rede, para que o programa calcule o custo mensal de energia. O tempo de retorno é então determinado pela função NPER do Excel, que realiza o cálculo do *Payback* descontado utilizando uma taxa de desconto de 10%.

Capítulo 5. Estudo de Caso

De forma a analisar o impacto da introdução de medidas de eficiência energética na viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico residencial interligado à rede elétrica, um estudo será feito neste capítulo a partir da comparação de duas condições. A condição base descreve um consumo intenso de energia típico de uma família de classe média alta e a condição proposta apresenta o consumo da mesma família após a introdução de medidas de eficiência energética. Em ambas as condições serão determinados os consumos mensais de energia elétrica da residência, os níveis de iluminância para cada cômodo, e o dimensionamento do sistema fotovoltaico. Como resultado, serão observados o tempo de retorno do investimento necessário para a instalação do sistema fotovoltaico e para a implementação das medidas de eficiência energética, considerando a redução do gasto com energia elétrica comprada da concessionária. Será feita uma comparação do tempo de retorno entre a condição base e a condição proposta, considerando cenários com e sem a existência de programas de incentivos à instalação de sistemas fotovoltaicos interligados à rede e considerando custo reduzido de instalação do sistema a partir da hipótese de produção nacional futura de módulos fotovoltaicos. Adicionalmente, será analisado o tempo de retorno considerando somente as medidas de eficiência energética adotadas, sem a instalação de sistemas de geração própria de energia.

5.1. Condição Base

A condição base descreve uma família de quatro pessoas (um casal e dois filhos), de classe média alta, com estilo de vida que preza a praticidade e o conforto, com uso intenso de aparelhos elétricos, morando no Rio de Janeiro. A residência possui um quarto de casal com suíte, dois quartos de solteiro, sala de estar, sala de jantar, banheiro social, lavabo, cozinha, dependências de serviço e garagem.

A Figura 5-1 apresenta a planta da residência com suas medidas e a Tabela 5-1 contém as medidas de cada cômodo:

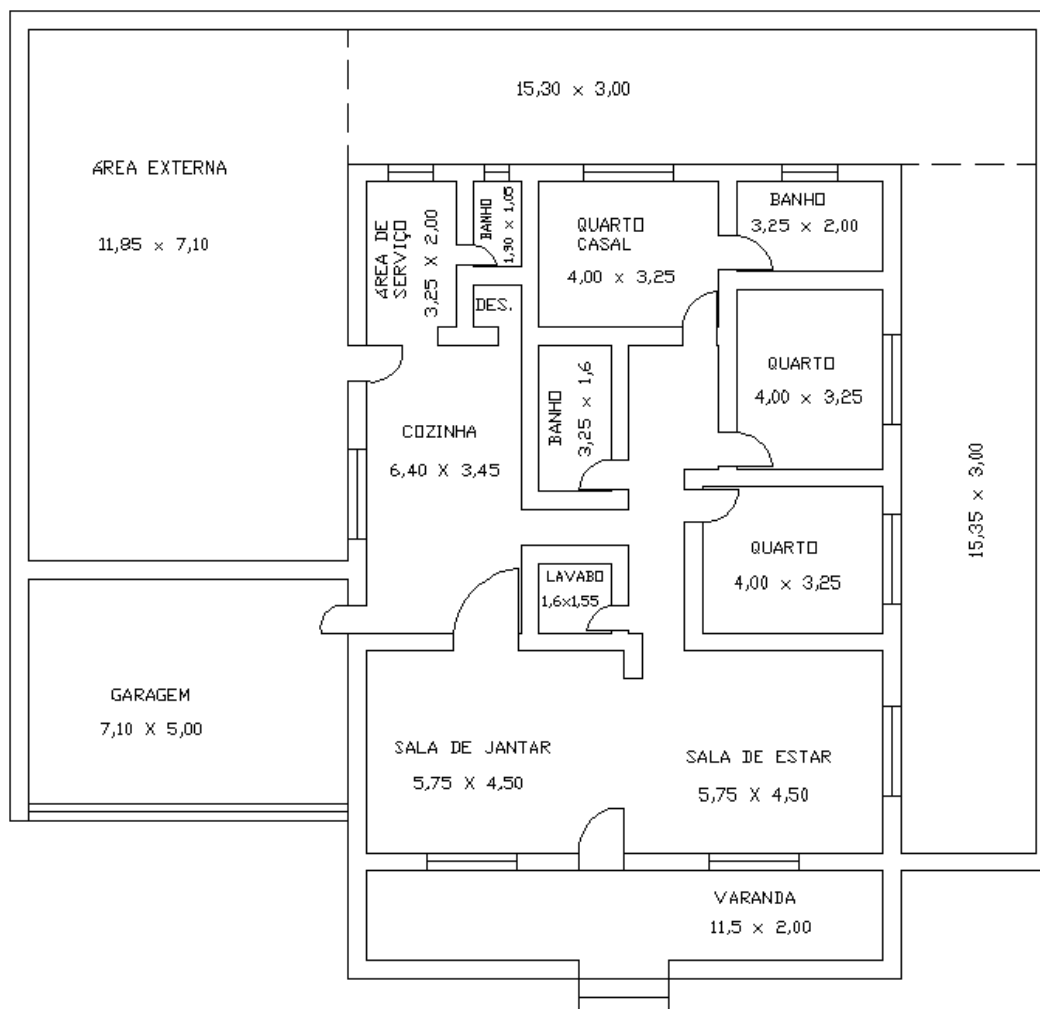


Figura 5-1: Planta da residência apresentada no estudo de caso

Tabela 5-1: Medidas dos ambientes presentes na residência

Ambiente	Medidas	Área (m ²)
Quartos (3)	4,00 x 3,25	13,00
Sala de Estar	4,50 x 5,75	26,00
Sala de Jantar	4,50 x 5,75	26,00
Cozinha	3,45 x 6,40	22,00
Área de Serviço	2,00 x 3,25	6,50
Banheiro Suíte	2,00 x 3,25	6,50
Banheiro Social	1,60 x 3,25	5,20
Corredor	6,40 x 1,25	8,00
Varanda	11,50 x 2,00	23,00
Garagem	7,10 x 5,00	35,50
Lavabo	1,55 x 1,60	2,50
Banheiro de Serviço	1,90 x 1,05	2,00
Dispensa	1,05 x 0,95	1,00
Área Externa	11,85 x 7,10 + 15,30 x 3,00 + 15,35 x 3,00	176,09

5.1.1. Cálculo do Consumo de Energia

A partir das opções apresentadas na ferramenta de estimativa de consumo de energia descrita no Capítulo 4, foram escolhidos os equipamentos que estariam presentes na residência, de acordo com o estilo de vida da família. As potências dos equipamentos para a condição base foram escolhidas visando representar um comportamento de pouca ou nenhuma preocupação com o consumo elétrico da residência, baseado apenas no conforto e praticidade que estes equipamentos representam, bem como o custo inicial dos mesmos. Foram utilizados também modelos mais antigos de ar-condicionado e geladeira para enfatizar a economia que será feita com a substituição dos mesmos por modelos mais novos e eficientes na condição proposta. A lista completa dos equipamentos elétricos escolhidos para integrar a residência da condição base, com suas respectivas potências e quantidades, se encontra na Tabela 5-2:

Tabela 5-2: Equipamentos presentes na residência na condição base

Equipamentos Condição Base		
Quarto de Casal	Potência (W)	Quantidade
Ar-condicionado	1.000	1
Aparelho de DVD	12	1
Aparelho de DVD em <i>stand-by</i>	1	1
Carregador de celular	10	2
Decodificador TV	30	1
Decodificador em <i>stand-by</i>	1	1
Rádio-relógio	6	1
Televisão LCD 26"	105	1
TV em <i>stand-by</i>	0	1
Ventilador de teto	125	1
<i>Microsystem</i>	15	1
<i>Microsystem</i> em <i>stand-by</i>	4	1
Carregador de pilhas	33	1
Laptop	70	1
Iluminação	60	2
Iluminação Local	40	2
Banheiro Suíte	Potência (W)	Quantidade
Chuveiro elétrico	2.200	1
Depilador	8	1
Barbeador elétrico	3	1
Secador de cabelo	1.600	1
Prancha alisadora	78	1
Iluminação	60	1
Iluminação Local	40	1

Tabela 5-2: Equipamentos presentes na residência na condição base (continuação)

Quarto Filhos	Potência (W)	Quantidade
Ar-condicionado	1.000	2
Carregador de celular	10	2
Televisão LCD 19"	60	2
Televisão em <i>stand-by</i>	1	2
Ventilador de teto	125	2
<i>Microsystem</i>	15	2
<i>Microsystem</i> em <i>stand-by</i>	4	2
Rádio-relógio	6	2
Decodificador TV	30	2
Decodificador em <i>stand-by</i>	1	2
Iluminação	60	4
Iluminação Local	40	2
Banheiro Social	Potência (W)	Quantidade
Chuveiro elétrico	2.200	1
Iluminação	60	1
Iluminação Local	40	1
Corredor	Potência (W)	Quantidade
Iluminação	40	2
Lavabo	Potência (W)	Quantidade
Iluminação	40	1
Sala de Estar	Potência (W)	Quantidade
Televisão LCD 40"	180	1
Televisão em <i>stand-by</i>	0	1
Decodificador TV	30	1
Decodificador em <i>stand-by</i>	1	1
Telefone sem fio	10	1
Secretária eletrônica	20	1
Ventilador de teto	125	1
Microcomputador	150	1
Impressora	20	1
Impressora <i>stand-by</i>	3	1
<i>Home Theater</i>	40	1
<i>Home Theater</i> em <i>stand-by</i>	1	1
<i>Videogame</i>	79	1
Videocassete	20	1
Videocassete em <i>stand-by</i>	1	1
Iluminação	60	4
Iluminação Local	40	2
Sala de Jantar	Potência (W)	Quantidade
Iluminação	60	4
Cozinha	Potência (W)	Quantidade
Cafeteira elétrica	1.000	1
Centrifúga/ <i>Juicer</i>	350	1
Depurador de ar	200	1
Forno à resistência	1.750	1
Forno de Microondas	1.200	1
Microondas em <i>stand-by</i>	3	1
Fritadeira elétrica	1.250	1

Tabela 5-2: Equipamentos presentes na residência na condição base (continuação)

Cozinha	Potência (W)	Quantidade
Freezer	124	1
Geladeira	417	1
<i>Grill</i>	850	1
Torneira elétrica	4.500	1
Torradeira	700	1
Liquidificador	450	1
Multiprocessador	300	1
Panela elétrica	700	1
Aspirador de pó	1.300	1
Som Portátil	10	1
Aparelho de fondue	1.000	1
Batedeira	175	1
Panificadora	600	1
Pipoqueira	900	1
Forno elétrico	3.500	1
Iluminação	100	2
Iluminação Local	40	1
Área de Serviço	Potência (W)	Quantidade
Ferro elétrico	1.200	1
Lava-louças	1.700	1
Lavadora de roupa	775	1
Secadora de roupa	2.000	1
Iluminação	60	1
Despensa	Potência (W)	Quantidade
Iluminação	40	1
Banheiro de Serviço	Potência (W)	Quantidade
Chuveiro elétrico	2.200	1
Iluminação	40	1
Iluminação Local	40	1
Área Externa	Potência (W)	Quantidade
Cortador de grama	1.050	1
Filtro de Piscina	613	1
Frigobar	28	1
Iluminação	100	10
Garagem	Potência (W)	Quantidade
Iluminação	100	2
Varanda	Potência (W)	Quantidade
Iluminação	60	3

Como descrito no item 4.1, o cálculo do consumo de energia elétrica foi feito mensalmente, para o período de um ano. Estimou-se o consumo diário para um dia típico e para o fim-de-semana, sendo que a cada mês foram acrescentados equipamentos de uso esporádico e equipamentos característicos daquele mês, como por exemplo, o aparelho de ar-condicionado, que só funciona no verão.

a) Consumo de um dia típico:

Como os cálculos de consumo de energia são muito extensivos, está representado, na Figura 5-2, apenas o gráfico com a curva de carga de um dia típico para a condição base.

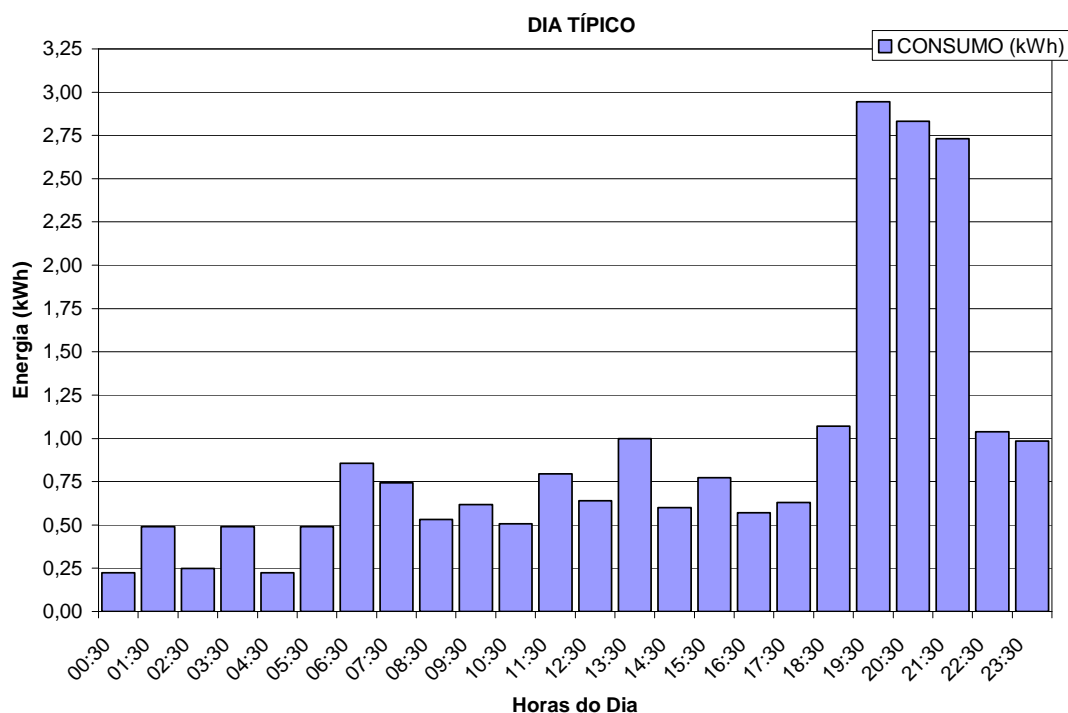


Figura 5-2: Gráfico do consumo de energia de um dia típico para a condição base

b) Consumo de um Dia de Fim-de-Semana:

Assim como para um dia típico, a Figura 5-3 apresenta a curva de carga de um dia de fim-de-semana para a condição base. Nota-se que no fim-de-semana o consumo durante o dia é maior do que no dia típico. Isto pode ser explicado pelo fato que durante a semana os moradores saem para trabalhar e estudar, ficando menos tempo em casa.

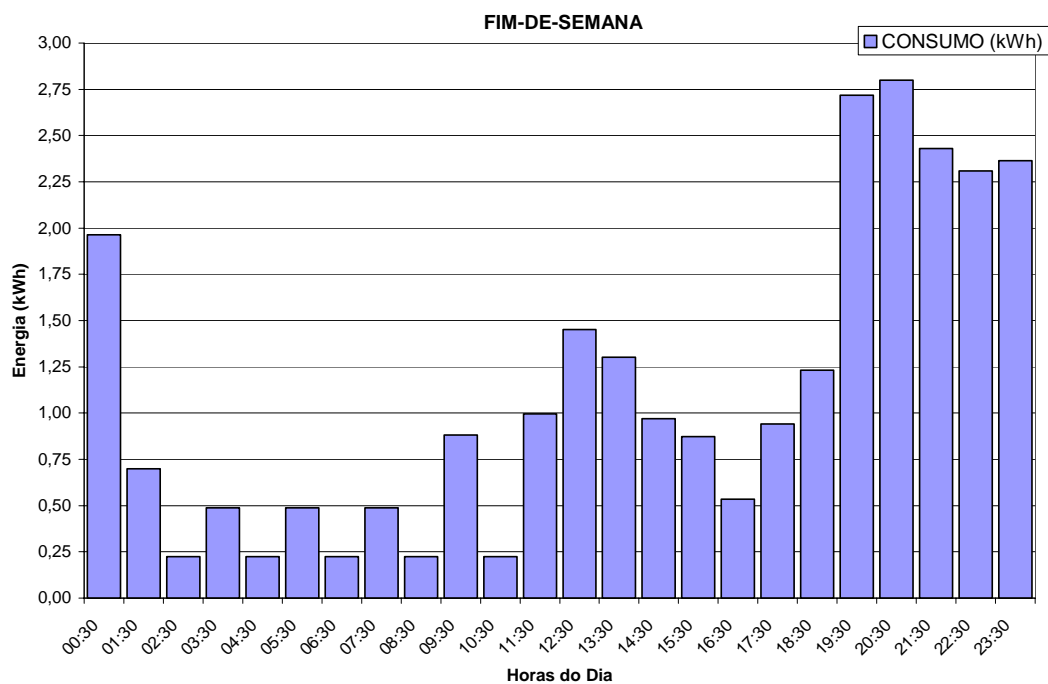


Figura 5-3: Gráfico do consumo de energia de um dia de fim-de-semana para a condição base

c) Consumo Mensal:

Os consumos mensais totais, bem como o custo mensal total da energia elétrica estão representados na Tabela 5-3.

Tabela 5-3: Consumos e custos de energia da condição base para o período de um ano

Mês	Condição Base	
	Consumo de energia (kWh)	Custo de energia elétrica (R\$)
Janeiro	1.436,28	718,14
Fevereiro	1.315,62	657,81
Março	1.353,46	676,73
Abril	1.277,42	638,71
Maio	1.254,93	627,46
Junho	1.168,04	584,02
Julho	1.180,68	590,34
Agosto	1.176,48	588,24
Setembro	1.161,57	580,78
Outubro	1.103,10	551,55
Novembro	1.262,61	631,31
Dezembro	1.436,28	718,14
TOTAL	15.126,48	7.563,24

A tarifa de energia da rede foi baseada no valor estipulado pela LIGHT para classe de consumo acima de 140 kWh e faixa de consumo mensal acima de 300 kWh.

Este valor para o mês de novembro de 2008 está estabelecido em R\$0,47/kWh (ANEEL, 2008). Para simplificar os cálculos realizados neste estudo, a tarifa da energia elétrica da rede foi estimada em R\$0,50/kWh.

Na Figura 5-4 está representada, para uma melhor visualização dos valores obtidos, a curva de carga horária encontrada através da média de todos os consumos mensais. Os consumos horários mensais foram divididos pelo número de dias de cada mês, encontrando uma curva de carga média, e depois foi feita uma média geral com os valores de cada mês.

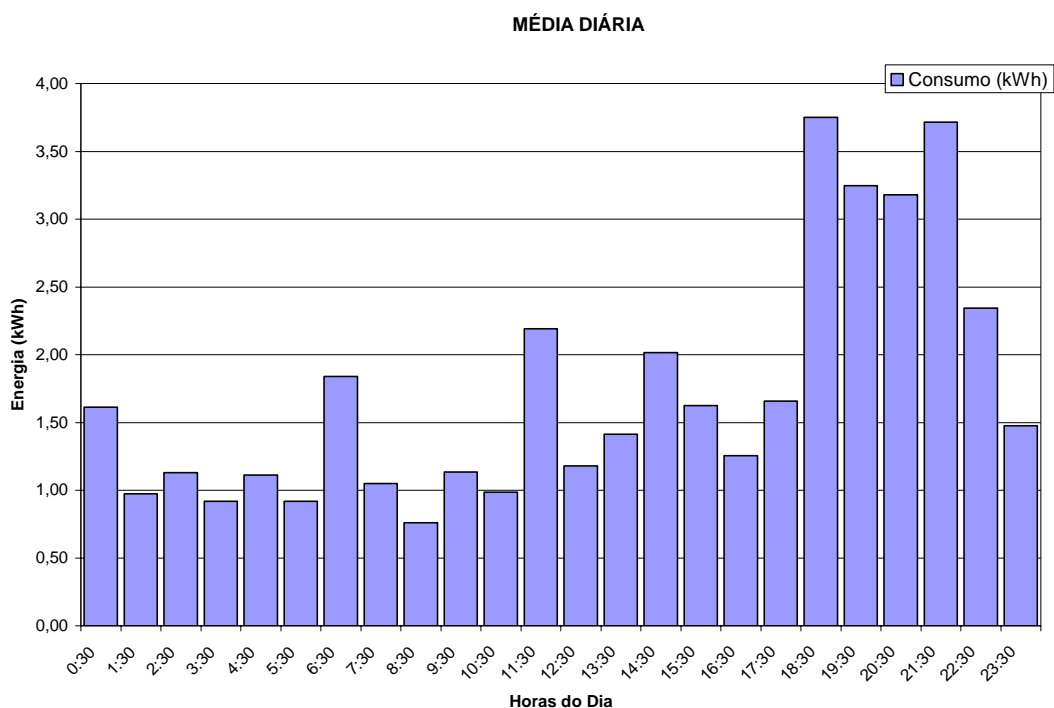


Figura 5-4: Consumo diário médio para os valores obtidos na condição base

5.1.2. Dimensionamento Preliminar do Sistema Fotovoltaico da Condição Base

O sistema fotovoltaico deve ser instalado no telhado da residência, que possui área de 188,81 m². Para compor o sistema, foram escolhidos os módulos KC200GT da Kyocera, de tecnologia de silício multicristalino. Esta tecnologia foi escolhida por possuir alta eficiência (16%), o que é um fator fundamental para edificações com área limitada para instalação do sistema, como no caso aqui estudado, já que o espaço disponível para a instalação dos módulos é somente a área do telhado da residência. Quando são utilizados módulos de menores eficiências, é preciso instalar maior

quantidade de módulos para obter a mesma potência de geração, o que implica em ocupar uma área maior do que seria necessário com a utilização de módulos de maior eficiência. Já o fabricante foi escolhido por possuir representação no Brasil, o que facilita a aquisição dos módulos. A potência de pico dos módulos KC200GT é de 200Wp cada e a área de cada módulo é de 1,41m² com moldura, e de 1,31m² sem moldura. A taxa de câmbio utilizada foi de 1,73, cotada no dia cinco de setembro de 2008. A partir destas informações serão feitos os cálculos apresentados no item 4.2.

O tempo de retorno do investimento será feito para três hipóteses diferentes de incentivos à geração de energia fotovoltaica. A primeira apresenta a realidade atual do Brasil, onde não existem incentivos do governo à geração fotovoltaica. O fluxo de caixa será considerado apenas como a economia que o consumidor terá pela redução da conta de luz, ou seja, a diferença entre o preço pago pela energia antes e depois da instalação do sistema fotovoltaico.

A segunda hipótese apresenta um incentivo à geração com tarifa *Feed-in* equitativa, ou seja, o consumidor recebe pelo excesso de energia elétrica gerada, aquela que será injetada na rede, o mesmo valor pago por ele à concessionária de energia. Como neste caso o valor do kWh é o mesmo tanto para compra pelo consumidor quanto para venda para a concessionária, a tarifa *Feed-in* será, portanto, R\$0,50. O fluxo de caixa será calculado somando o valor recebido pela energia entregue à rede e a economia feita pela redução da conta de luz.

Já a terceira hipótese considera uma tarifa *Feed-in* de valor superior à tarifa da concessionária. Para este estudo de caso o valor foi baseado na tarifa *Feed-in* implementada na Alemanha, que é de €\$0,56. Na conversão deste valor para a moeda brasileira, foi utilizada uma taxa de câmbio igual a 3,57, de forma a simplificar os cálculos, obtendo-se assim, o valor de R\$2,00 para a tarifa *Feed-in*. Assume-se que a tarifa se manterá fixa durante toda a vida do projeto. O fluxo de caixa será, então, calculado da mesma forma da segunda hipótese.

Para cada uma dessas hipóteses, serão simulados diferentes cenários de número de módulos que integram o sistema e preço pago pelo Wp instalado. O tempo de retorno será calculado para cada um desses cenários.

Ao escolher o número de módulos que irão integrar o sistema, optou-se por uma quantidade que gerasse energia suficiente para atender a demanda da residência no

período de geração do sistema, ou seja, nas horas do dia em que há produção de energia fotovoltaica pelos módulos. Através dos gráficos que representam a relação entre o consumo de energia horário médio e a geração de energia horária média do sistema fotovoltaico para cada mês do ano, que são disponibilizados pela ferramenta de dimensionamento, estimou-se a quantidade de 21 módulos. Na Figura 5-5 está representada a relação de geração e demanda para o mês de Janeiro para 21 módulos instalados.

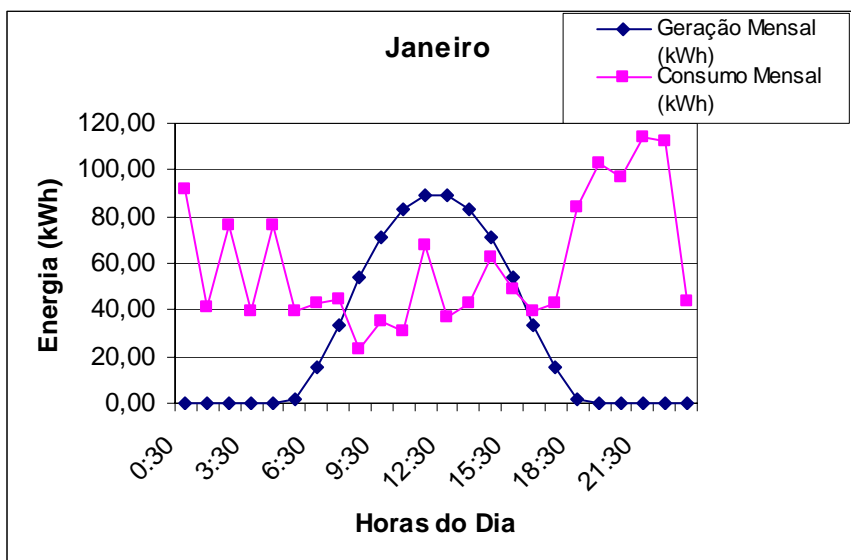


Figura 5-5: Relação entre geração horária média e demanda horária média para o mês de Janeiro com 21 módulos instalados na condição base

Para a quantidade de módulos escolhidos, os valores calculados no dimensionamento preliminar são:

a) Área útil de geração de energia elétrica:

$$\text{Área Útil (m}^2\text{)} = \text{Número de módulos} \times \text{Área dos módulos sem moldura (m}^2\text{)}$$

$$\text{Área Útil} = 21 \times 1,31 = 27,43 \text{ m}^2$$

b) Área total utilizada:

$$\text{Área Total (m}^2\text{)} = \text{Número de módulos} \times \text{Área dos módulos com moldura (m}^2\text{)}$$

$$\text{Área Total} = 21 \times 1,41 = 29,61 \text{ m}^2$$

c) Potência instalada do sistema fotovoltaico:

$$\text{Potência Instalada (kWp)} = \frac{\text{Número de módulos} \times \text{Potência de cada módulo (Wp)}}{1.000}$$

$$\text{Potência Instalada} = \frac{21 \times 200}{1.000} = 4,2 \text{ kWp}$$

d) Energia gerada pelo sistema fotovoltaico:

Tabela 5-4: Geração horária média mensal de energia fotovoltaica para a instalação de 21 módulos

Hora	Radiação (Wh/m ²)	Geração Horária (kWh)
0:30	0	0,00
1:30	0	0,00
2:30	0	0,00
3:30	0	0,00
4:30	0	0,00
5:30	11	0,04
6:30	125	0,49
7:30	274	1,08
8:30	438	1,73
9:30	581	2,30
10:30	677	2,67
11:30	729	2,88
12:30	729	2,88
13:30	677	2,67
14:30	581	2,30
15:30	438	1,73
16:30	274	1,08
17:30	125	0,49
18:30	11	0,04
19:30	0	0,00
20:30	0	0,00
21:30	0	0,00
22:30	0	0,00
23:30	0	0,00
Total	5.670	22,40

A energia horária média gerada pelo sistema fotovoltaico depende da radiação solar horária média, que possui diferentes valores para cada mês do ano. Como exemplo dos valores encontrados, está representada na Tabela 5-4, extraída da ferramenta descrita no item 4.2, a geração horária média de energia do mês de Janeiro, para 21 módulos instalados. A energia diária média é o somatório das energias horárias, representada na última linha da tabela.

e) Número máximo de módulos:

$$\text{Número máximo de módulos} = \frac{\text{Área Disponível (m}^2\text{)}}{\text{Área dos módulos com moldura (m}^2\text{)}}$$

$$\text{Número máximo de módulos} = \frac{188,81}{1,41} = 133,9 \cong 133 \text{ módulos}$$

f) Preço dos módulos fotovoltaicos:

$$\text{Preço Total dos Módulos (US\$)} = \text{US\$10,00/Wp} \times \text{Potência Instalada do Sistema (kWp)} \times 1.000$$

$$\text{Preço Total dos Módulos} = 10,00 \times 4,2 \times 1.000 = \$42.000,00$$

$$\text{Preço Total dos Módulos (R\$)} = 1,73 \times \text{Preço Total dos Módulos (US\$)}$$

$$\text{Preço Total dos Módulos} = 1,73 \times 42.000,00 = \text{R\$72.660,00}$$

g) Investimento inicial:

Como na condição base não foram ainda realizadas medidas de eficiência energética, o investimento inicial é apenas o preço pago pelos módulos:

$$\text{Investimento Inicial (R\$)} = \text{Preço Total dos Módulos (R\$)} + \text{Preço Total de Novos Equipamentos (R\$)}$$

$$\text{Investimento Inicial} = 72.660,00 + 0 = \text{R\$72.660,00}$$

h) Tempo de Retorno do Investimento:

O tempo de retorno em cada uma das hipóteses de incentivo à geração fotovoltaica foi determinado para as seguintes possibilidades: instalação de 21 módulos com preço de instalação a US\$10,00/Wp; instalação de 21 módulos com preço de instalação a US\$7,00/Wp (considerando que os módulos pudessem ser fabricados nacionalmente); instalação do número máximo de módulos a US\$10,00/Wp; e instalação do número máximo de módulos a US\$7,00/Wp.

Para o estudo aqui apresentado, foi escolhida taxa de desconto em 10% ao ano. Os resultados para as hipóteses consideradas estão descritos a seguir.

○ **1ª hipótese:**

Nesta primeira hipótese, o tempo de retorno do investimento foi calculado considerando apenas a economia obtida com a redução do valor total da conta de luz,

sem que o consumidor receba nada pela energia gerada através do sistema fotovoltaico, ou seja, não existem incentivos à geração de energia fotovoltaica.

- **Considerando o preço de instalação dos módulos a US\$10,00/Wp:**

Na Tabela 5-5, extraída do programa apresentado no item 4.2, estão descritos os valores da energia que o consumidor pagava antes da instalação do sistema, o valor pago pela energia a após a instalação dos 21 módulos fotovoltaicos, e a economia obtida pela redução da energia demandada da rede elétrica, calculada pela subtração da segunda pela terceira coluna.

Tabela 5-5: Lucro obtido com a instalação de 21 módulos para a 1ª hipótese da condição base

Mês	Custo mensal de energia elétrica antes da instalação do sistema (R\$)	Custo mensal de energia elétrica após a instalação do sistema (R\$)	Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica (R\$)	Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)	Lucro total obtido pela instalação do sistema (R\$)
Janeiro	718,14	493,70	224,44	0,00	224,44
Fevereiro	657,81	456,28	201,53	0,00	201,53
Março	676,73	466,00	210,73	0,00	210,73
Abril	638,71	452,63	186,08	0,00	186,08
Mai	627,46	442,66	184,81	0,00	184,81
Junho	584,02	415,08	168,94	0,00	168,94
Julho	590,34	408,45	181,89	0,00	181,89
Agosto	588,24	403,86	184,39	0,00	184,39
Setembro	580,78	390,84	189,94	0,00	189,94
Outubro	551,55	345,15	206,40	0,00	206,40
Novembro	631,31	418,67	212,63	0,00	212,63
Dezembro	718,14	494,07	224,07	0,00	224,07
Total (R\$)	7.563,24	5.187,39	2.375,85	0,00	2.375,85

Os resultados dos cálculos realizados pelo programa estão reunidos na Tabela 5-6, onde se pode notar que o tempo de retorno para este investimento é superior à vida útil esperada para os módulos fotovoltaicos.

Tabela 5-6: Instalação de 21 módulos a US\$10,00/Wp para a 1ª hipótese da condição base

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	21
Preço de Instalação (US\$/Wp)	10,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	4,20
Área Útil de Geração (m ²)	27,43
Área Total Utilizada (m ²)	29,61
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	42.000,00
Preço Total Módulos (R\$)	72.660,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	0,00
Investimento Inicial Total (R\$)	72.660,00
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

- **Considerando o preço de instalação dos módulos a US\$7,00/Wp:**

Com um novo valor para o custo de instalação dos módulos, o preço total será:

$$\text{Preço Total dos Módulos (US\$)} = \text{US\$7,00/Wp} \times \\ \times \text{Potência Instalada do Sistema (Wp)} \times 1.000$$

$$\text{Preço Total dos Módulos} = 7,00 \times 4,2 \times 1.000 = \$29.400,00$$

$$\text{Preço Total dos Módulos (R\$)} = 1,73 \times \text{Preço Total dos Módulos (US\$)}$$

$$\text{Preço Total dos Módulos} = 1,73 \times 29.400,00 = \text{R\$}50.862,00$$

A Tabela 5-7 apresenta os novos valores obtidos para o preço dos módulos e o tempo de retorno, sendo este último superior a 30 anos da data da instalação do sistema.

Tabela 5-7: Instalação de 21 módulos a US\$7,00/Wp para a 1ª hipótese da condição base

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	21
Preço de Instalação (US\$/Wp)	7,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	4,20
Área Útil de Geração (m ²)	27,43
Área Total Utilizada (m ²)	29,61
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	29.400,00
Preço Total Módulos (R\$)	50.862,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	0,00
Investimento Inicial Total (R\$)	50.862,00
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

- **Utilizando toda a área disponível para instalação dos módulos a US\$10,00/Wp:**

Como o número de módulos agora é o máximo que pode ser instalado no telhado, ou seja, 133 módulos, novos valores para o dimensionamento são calculados pelo programa, como mostrado a seguir:

a) Área útil de geração de energia elétrica:

$$\text{Área Útil (m}^2\text{)} = \text{Número de módulos} \times \text{Área dos módulos sem moldura (m}^2\text{)}$$

$$\text{Área Útil} = 133 \times 1,31 = 173,75 \text{ m}^2$$

b) Área total utilizada:

Como o número máximo de módulos foi arredondado para baixo, a área total máxima que poderá realmente ser ocupada pelos módulos é:

$$\text{Área Total (m}^2\text{)} = \text{Número de módulos} \times \text{Área dos módulos com moldura (m}^2\text{)}$$

$$\text{Área Total} = 133 \times 1,41 = 187,53 \text{ m}^2$$

c) Potência instalada do sistema fotovoltaico:

$$Potência\ Instalada\ (kWp) = \frac{Número\ de\ módulos\ x\ Potência\ de\ cada\ módulo\ (Wp)}{1.000}$$

$$Potência\ Instalada = \frac{133\ x\ 200}{1.000} = 26,6\ kWp$$

d) Energia gerada pelo sistema fotovoltaico:

Como exemplo dos valores encontrados, está representada, na Tabela 5-8 e na Figura 5-6 extraídas da planilha Excel, a geração horária média de energia do mês de Janeiro, para o número máximo de módulos.

Tabela 5-8: Geração mensal de energia fotovoltaica para a instalação de 133 módulos

Hora	Radiação (Wh/m ²)	Geração Horária (kWh)
0:30	0	0,00
1:30	0	0,00
2:30	0	0,00
3:30	0	0,00
4:30	0	0,00
5:30	11	0,28
6:30	125	3,13
7:30	274	6,86
8:30	438	10,96
9:30	581	14,54
10:30	677	16,94
11:30	729	18,24
12:30	729	18,24
13:30	677	16,94
14:30	581	14,54
15:30	438	10,96
16:30	274	6,86
17:30	125	3,13
18:30	11	0,28
19:30	0	0,00
20:30	0	0,00
21:30	0	0,00
22:30	0	0,00
23:30	0	0,00
Total	5.670	141,86

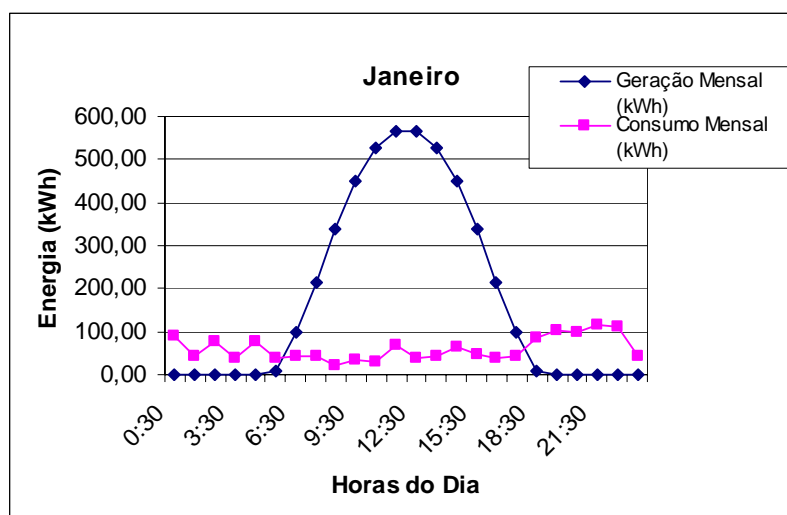


Figura 5-6: Relação entre geração horária média e demanda horária média para o mês de Janeiro com 133 módulos instalados na condição base

e) Preço dos módulos fotovoltaicos:

Preço Total dos Módulos (US\$) = US\$10,00/Wp x

x Potência Instalada do Sistema (Wp) x 1.000

Preço Total dos Módulos = 10 x 26,6 x 1.000 = US\$266.000,00

Preço Total dos Módulos (R\$) = 1,73 x Preço Total dos Módulos (US\$)

Preço Total dos Módulos = 1,73 x 266.000,00 = R\$460.180,00

Tabela 5-9: Lucro obtido com a instalação de 133 módulos para a 1ª hipótese da condição base

Mês	Custo mensal de energia elétrica antes da instalação do sistema (R\$)	Custo mensal de energia elétrica após a instalação do sistema (R\$)	Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica (R\$)	Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)	Lucro total obtido pela instalação do sistema (R\$)
Janeiro	718,14	450,21	267,93	0,00	267,93
Fevereiro	657,81	417,22	240,59	0,00	240,59
Março	676,73	411,67	265,06	0,00	265,06
Abril	638,71	408,74	229,97	0,00	229,97
Mai	627,46	413,90	213,57	0,00	213,57
Junho	584,02	379,53	204,49	0,00	204,49
Julho	590,34	396,34	194,00	0,00	194,00
Agosto	588,24	383,93	204,31	0,00	204,31
Setembro	580,78	342,85	237,93	0,00	237,93
Outubro	551,55	302,25	249,30	0,00	249,30
Novembro	631,31	381,77	249,54	0,00	249,54
Dezembro	718,14	445,55	272,59	0,00	272,59
Total (R\$)	7.563,24	4.733,94	2.829,30	0,00	2.829,30

Com a instalação do número máximo de módulos, a demanda da residência no período de geração será completamente suprida pelo sistema, como mostrado na Figura 5-6, e o custo pelo uso da energia da rede elétrica será ainda menor. A Tabela 5-9 apresenta estes resultados.

Os resultados calculados pelo programa estão reunidos na Tabela 5-10, com tempo de retorno do investimento superior a 30 anos.

Tabela 5-10: Instalação de 133 módulos a US\$10,00/Wp para a 1ª hipótese da condição base

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	133
Preço de Instalação (US\$/Wp)	10,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	26,60
Área Útil de Geração (m ²)	173,75
Área Total Utilizada (m ²)	187,53
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	266.000,00
Preço Total Módulos (R\$)	460.180,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	0,00
Investimento Inicial Total (R\$)	460.180,00
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

- **Utilizando toda a área disponível para instalação dos módulos a US\$7,00/Wp:**

Alterando o preço de instalação dos módulos, o único valor que precisa ser modificado em relação ao caso anterior é o preço total do sistema. Com um valor de \$7,00/Wp para o custo de instalação dos módulos, o novo preço calculado será:

$$\text{Preço Total dos Módulos (US\$)} = \text{US\$7,00/Wp} \times$$

$$\times \text{Potência Instalada do Sistema (Wp)} \times 1.000$$

$$\text{Preço Total dos Módulos} = 7,00 \times 26.600,00 = \text{US\$186.200,00}$$

$$\text{Preço Total dos Módulos (R\$)} = 1,73 \times \text{Preço Total dos Módulos (US\$)}$$

$$\text{Preço Total dos Módulos} = 1,73 \times 186.200,00 = \text{R\$322.126,00}$$

A Tabela 5-11 apresenta os valores calculados pelo programa para esta possibilidade e o tempo de retorno, que continua superior a 30 anos da data de instalação do sistema.

Tabela 5-11: Instalação de 133 módulos a US\$7,00/Wp para a 1ª hipótese da condição base

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	133
Preço de Instalação (US\$/Wp)	7,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	26,60
Área Útil de Geração (m ²)	173,75
Área Total Utilizada (m ²)	187,53
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	186.200,00
Preço Total Módulos (R\$)	322.126,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	0,00
Investimento Inicial Total (R\$)	322.126,00
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

Pelos resultados obtidos para a primeira hipótese, pode-se observar que o tempo de retorno ultrapassaria a marca de 30 anos para todos os cenários simulados. Como não há incentivos à geração de energia fotovoltaica nesta hipótese, o ideal é dimensionar o sistema para atender apenas à demanda de energia da residência durante o período de geração, o que nesta condição base corresponde à instalação de 21 módulos.

o **2ª hipótese:**

Na segunda hipótese, o tempo de retorno foi calculado considerando um incentivo à geração fotovoltaica através de tarifa *Feed-in* equitativa, que neste estudo será de R\$0,50/kWh. Foram feitos novamente os cálculos para a instalação de 21 módulos com preços de instalação a US\$7,00/Wp e US\$10,00/Wp, e para a instalação de 133 módulos com os mesmos preços de instalação.

- **Considerando o preço de instalação dos módulos a US\$10,00/Wp:**

A Tabela 5-12 disponibiliza o quanto o consumidor receberia por mês pela energia injetada na rede, ou seja, pela energia gerada pelo sistema fotovoltaico composto por 21 módulos que não foi utilizada pela residência. O lucro total obtido é a soma da economia na conta de luz e do valor pago pela concessionária de energia.

Tabela 5-12: Lucro obtido com a instalação de 21 módulos para a 2ª hipótese da condição base

Mês	Custo mensal de energia elétrica antes da instalação do sistema (R\$)	Custo mensal de energia elétrica após a instalação do sistema (R\$)	Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica (R\$)	Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)	Lucro total obtido pela instalação do sistema (R\$)
Janeiro	718,14	493,70	224,44	122,76	347,19
Fevereiro	657,81	456,28	201,53	111,18	312,71
Março	676,73	466,00	210,73	126,05	336,78
Abril	638,71	452,63	186,08	79,99	266,07
Mai	627,46	442,66	184,81	99,56	284,37
Junho	584,02	415,08	168,94	65,61	234,54
Julho	590,34	408,45	181,89	110,68	292,57
Agosto	588,24	403,86	184,39	105,37	289,76
Setembro	580,78	390,84	189,94	75,06	265,00
Outubro	551,55	345,15	206,40	94,26	300,66
Novembro	631,31	418,67	212,63	92,79	305,42
Dezembro	718,14	494,07	224,07	107,57	331,64
Total (R\$)	7.563,24	5.187,39	2.375,85	1.190,88	3.566,72

Tabela 5-13: Instalação de 21 módulos a US\$10,00/Wp para a 2ª hipótese da condição base

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,50
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	21
Preço de Instalação (US\$/Wp)	10,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	4,20
Área Útil de Geração (m ²)	27,43
Área Total Utilizada (m ²)	29,61
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	42.000,00
Preço Total Módulos (R\$)	72.660,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	0,00
Investimento Inicial Total (R\$)	72.660,00
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

Os cálculos para o dimensionamento são os mesmos feitos para a 1ª hipótese, com exceção do tempo de retorno do investimento, que permanece sendo superior a 30 anos, como pode ser visto na Tabela 5-13.

- **Considerando o preço de instalação dos módulos a US\$7,00/Wp:**

Tabela 5-14: Instalação de 21 módulos a US\$7,00/Wp para a 2ª hipótese da condição base

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,50
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	21
Preço de Instalação (US\$/Wp)	7,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	4,20
Área Útil de Geração (m ²)	27,43
Área Total Utilizada (m ²)	29,61
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	29.400,00
Preço Total Módulos (R\$)	50.862,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	0,00
Investimento Inicial Total (R\$)	50.862,00
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

Mesmo com a alteração do preço de instalação dos módulos fotovoltaicos, o investimento no sistema de 21 módulos ainda teria tempo de retorno maior que 30 anos, como mostra a Tabela 5-14.

- **Utilizando toda a área disponível para instalação dos módulos a US\$10,00/Wp:**

Com a instalação de 133 módulos, a geração de energia é aquela apresentada na Tabela 5-8 e na Figura 5-6, que é muito superior à demanda da residência. Com isto apenas uma pequena parcela da energia seria usada pelo consumidor e o restante injetado na rede, acarretando um grande lucro promovido pelo incentivo pago pela concessionária. A Tabela 5-15 apresenta os valores obtidos para esse caso.

Tabela 5-15: Lucro obtido com a instalação de 133 módulos para a 2ª hipótese da condição base

Mês	Custo mensal de energia elétrica antes da instalação do sistema (R\$)	Custo mensal de energia elétrica após a instalação do sistema (R\$)	Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica (R\$)	Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)	Lucro total obtido pela instalação do sistema (R\$)
Janeiro	718,14	450,21	267,93	1.930,96	2.198,90
Fevereiro	657,81	417,22	240,59	1.739,90	1.980,50
Março	676,73	411,67	265,06	1.867,91	2.132,97
Abril	638,71	408,74	229,97	1.455,13	1.685,11
Mai	627,46	413,90	213,57	1.587,43	1.801,00
Junho	584,02	379,53	204,49	1.280,96	1.485,45
Julho	590,34	396,34	194,00	1.658,96	1.852,97
Agosto	588,24	383,93	204,31	1.630,81	1.835,13
Setembro	580,78	342,85	237,93	1.440,42	1.678,35
Outubro	551,55	302,25	249,30	1.654,86	1.904,16
Novembro	631,31	381,77	249,54	1.684,77	1.934,31
Dezembro	718,14	445,55	272,59	1.827,81	2.100,39
Total (R\$)	7.563,24	4.733,94	2.829,30	19.759,94	22.589,24

O valor pago pelo excesso de energia gerada com a instalação do número máximo de módulos na residência não é suficiente para reduzir a menos de 30 anos o tempo de retorno no investimento desse sistema, o que pode ser confirmado pela Tabela 5-16.

Tabela 5-16: Instalação de 133 módulos a US\$10,00/Wp para a 2ª hipótese da condição base

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,50
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	133
Preço de Instalação (US\$/Wp)	10,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	26,60
Área Útil de Geração (m ²)	173,75
Área Total Utilizada (m ²)	187,53
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	266.000,00
Preço Total Módulos (R\$)	460.180,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	0,00
Investimento Inicial Total (R\$)	460.180,00
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

- **Utilizando toda a área disponível para instalação dos módulos a US\$7,00/Wp:**

Tabela 5-17: Instalação de 133 módulos a US\$7,00/Wp para a 2ª hipótese da condição base

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,50
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	133
Preço de Instalação (US\$/Wp)	7,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	26,60
Área Útil de Geração (m ²)	173,75
Área Total Utilizada (m ²)	187,53
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	186.200,00
Preço Total Módulos (R\$)	322.126,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	0,00
Investimento Inicial Total (R\$)	322.126,00
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

A situação anterior foi testada agora para um preço de instalação dos módulos de US\$7,00/Wp. A Tabela 5-17 mostra que esta situação também não seria suficiente para trazer o tempo de retorno abaixo de 30 anos.

Observa-se, pelos resultados obtidos, que mesmo com a prática de tarifa *Feed-in* de valor igual à tarifa da concessionária, o sistema fotovoltaico não se pagaria em menos de 30 anos para nenhum dos cenários simulados. O recomendado, então, é que o sistema seja dimensionado apenas para suprir a demanda de energia da residência, assim como na 1ª hipótese, com a instalação de 21 módulos.

3ª hipótese:

Nesta última hipótese, o valor do quilowatt-hora gerado pelo sistema fotovoltaico seria de quatro vezes àquele pago pelo consumidor à rede de energia, ou seja, a tarifa *Feed-in* paga pela concessionária seria de R\$2,00. Os cenários simulados nas hipóteses anteriores foram novamente utilizados para a 3ª hipótese, como é mostrado a seguir.

- **Considerando o preço de instalação dos módulos a US\$10,00/Wp:**

A Tabela 5-18 apresenta os valores recebidos da concessionária pelo excesso injetado na rede da geração do sistema composto por 21 módulos e o lucro obtido pela economia na conta de luz somado ao incentivo recebido.

Tabela 5-18: Lucro obtido com a instalação de 21 módulos para a 3ª hipótese da condição base

Mês	Custo mensal de energia elétrica antes da instalação do sistema (R\$)	Custo mensal de energia elétrica após a instalação do sistema (R\$)	Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica (R\$)	Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)	Lucro total obtido pela instalação do sistema (R\$)
Janeiro	718,14	493,70	224,44	491,03	715,47
Fevereiro	657,81	456,28	201,53	444,73	646,26
Março	676,73	466,00	210,73	504,22	714,95
Abril	638,71	452,63	186,08	319,95	506,03
Mai	627,46	442,66	184,81	398,25	583,05
Junho	584,02	415,08	168,94	262,43	431,37
Julho	590,34	408,45	181,89	442,72	624,62
Agosto	588,24	403,86	184,39	421,49	605,87
Setembro	580,78	390,84	189,94	300,24	490,18
Outubro	551,55	345,15	206,40	377,03	583,43
Novembro	631,31	418,67	212,63	371,14	583,78
Dezembro	718,14	494,07	224,07	430,29	654,36
Total (R\$)	7.563,24	5.187,39	2.375,85	4.763,50	7.139,35

Tabela 5-19: Instalação de 21 módulos a US\$10,00/Wp para a 3ª hipótese da condição base

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	2,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	21
Preço de Instalação (US\$/Wp)	10,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	4,20
Área Útil de Geração (m ²)	27,43
Área Total Utilizada (m ²)	29,61
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	42.000,00
Preço Total Módulos (R\$)	72.660,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	0,00
Investimento Inicial Total (R\$)	72.660,00
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

A Tabela 5-19 mostra que o tempo de retorno para este investimento ainda é superior à vida útil estimada para os módulos, como nas hipóteses anteriores.

- **Considerando o preço de instalação dos módulos a US\$7,00/Wp:**

Quando é considerada a fabricação dos módulos em território nacional, o sistema fotovoltaico apresenta finalmente tempo de retorno abaixo de sua vida útil. A Tabela 5-20 apresenta os resultados obtidos, onde o tempo de retorno seria de aproximadamente 13 anos.

Tabela 5-20: Instalação de 21 módulos a \$7,00/Wp para a 3ª hipótese da condição base

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	2,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	21
Preço de Instalação (US\$/Wp)	7,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	4,20
Área Útil de Geração (m ²)	27,43
Área Total Utilizada (m ²)	29,61
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	29.400,00
Preço Total Módulos (R\$)	50.862,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	0,00
Investimento Inicial Total (R\$)	50.862,00
Tempo de Retorno (anos)	13,08

- **Utilizando toda a área disponível para instalação dos módulos a US\$10,00/Wp:**

Com o excesso de energia entregue à rede pela instalação de um sistema composto por 133 módulos, os lucros obtidos com a venda da energia a R\$2,00/Wp seriam muito elevados, como apresenta a Tabela 5-21.

Tabela 5-21: Lucro obtido com a instalação de 133 módulos para a 3ª hipótese da condição base

Mês	Custo mensal de energia elétrica antes da instalação do sistema (R\$)	Custo mensal de energia elétrica após a instalação do sistema (R\$)	Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica (R\$)	Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)	Lucro total obtido pela instalação do sistema (R\$)
Janeiro	718,14	450,21	267,93	7.723,86	7.991,79
Fevereiro	657,81	417,22	240,59	6.959,61	7.200,20
Março	676,73	411,67	265,06	7.471,64	7.736,70
Abril	638,71	408,74	229,97	5.820,54	6.050,51
Maio	627,46	413,90	213,57	6.349,74	6.563,31
Junho	584,02	379,53	204,49	5.123,82	5.328,31
Julho	590,34	396,34	194,00	6.635,86	6.829,86
Agosto	588,24	383,93	204,31	6.523,26	6.727,57
Setembro	580,78	342,85	237,93	5.761,69	5.999,62
Outubro	551,55	302,25	249,30	6.619,45	6.868,75
Novembro	631,31	381,77	249,54	6.739,08	6.988,62
Dezembro	718,14	445,55	272,59	7.311,22	7.583,81
Total (R\$)	7.563,24	4.733,94	2.829,30	79.039,77	81.869,06

A Tabela 5-22 mostra que, para este cenário, a instalação do sistema torna-se bastante atrativa economicamente, com tempo de retorno entre 8 e 9 anos.

Tabela 5-22: Instalação de 133 módulos a US\$10,00/Wp para a 3ª hipótese da condição base

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	2,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	133
Preço de Instalação (US\$/Wp)	10,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	26,60
Área Útil de Geração (m ²)	173,75
Área Total Utilizada (m ²)	187,53
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	266.000,00
Preço Total Módulos (R\$)	460.180,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	0,00
Investimento Inicial Total (R\$)	460.180,00
Tempo de Retorno (anos)	8,66

- **Utilizando toda a área disponível para instalação dos módulos a US\$7,00/Wp:**

Este cenário seria o mais promissor, do ponto de vista econômico, para a condição base, com o tempo de retorno do investimento em pouco mais de cinco anos, como pode ser observado pela Tabela 5-23.

Tabela 5-23: Instalação de 133 módulos a US\$7,00/Wp para a 3ª hipótese da condição base

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	2,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	133
Preço de Instalação (US\$/Wp)	7,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	26,60
Área Útil de Geração (m ²)	173,75
Área Total Utilizada (m ²)	187,53
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	186.200,00
Preço Total Módulos (R\$)	322.126,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	0,00
Investimento Inicial Total (R\$)	322.126,00
Tempo de Retorno (anos)	5,25

Nesta 3ª hipótese pode-se observar que foi possível viabilizar a instalação do sistema fotovoltaico, com a exceção do primeiro cenário apresentado. Neste caso, o sistema pode ser dimensionado para gerar mais energia do que a residência consumir, pois o excedente será vendido, resultado em lucro para o investidor.

A Tabela 5-24 traz um resumo das possibilidades apresentadas para as três hipóteses de incentivo à geração fotovoltaica, com a viabilização do investimento apenas para o caso de existirem incentivos governamentais muito altos à geração fotovoltaica.

Tabela 5-24: Resumo dos resultados obtidos para a condição base

Possíveis cenários para a instalação do sistema fotovoltaico na condição base	Tempo de Retorno do Investimento		
	1ª Hipótese	2ª Hipótese	3ª Hipótese
21 módulos a US\$10,00	> 30 anos	> 30 anos	> 30 anos
21 módulos a US\$7,00	> 30 anos	> 30 anos	13,08
133 módulos a US\$10,00	> 30 anos	> 30 anos	8,66
133 módulos a US\$7,00	> 30 anos	> 30 anos	5,25

No próximo item, este mesmo estudo será realizado para a residência após a implementação de medidas de eficiência energética.

5.2. Condição Proposta

Nesta condição proposta serão efetuadas medidas de eficiência energética na residência apresentada na condição base, visando reduzir o consumo e evitar o desperdício de energia elétrica. Os novos resultados obtidos serão comparados com os valores da condição base, e serão analisados os impactos das mudanças realizadas na economia de energia e no dimensionamento do sistema fotovoltaico.

5.2.1. Análise dos Equipamentos Elétricos

Observando o consumo da residência na condição base, é possível determinar quais equipamentos são responsáveis por um gasto maior de energia elétrica e podem ter seu uso reduzido ou até mesmo dispensado sem prejudicar a rotina da família. Estes equipamentos estão reunidos na Tabela 5-25 e na Tabela 5-26, que foram divididas nos períodos de verão e inverno, pois nestes períodos encontram-se normalmente os picos de consumo anual. A Figura 5-7 e a Figura 5-8 demonstram, através de gráficos de pizza, a participação destes equipamentos elétricos em relação ao consumo total da residência.

Pela análise da Tabela 5-25 e da Figura 5-7, observa-se que os maiores consumidores de energia do período de verão são aparelhos ar-condicionado, geladeira e iluminação, sendo que os aparelhos de ar-condicionado consomem quase a mesma quantidade de energia do restante dos equipamentos da residência que não foram destacados neste estudo.

Tabela 5-25: Consumos de energia no verão para a condição base

CONDIÇÃO BASE						
Consumo Verão	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	TOTAL	Consumo
Equipamento elétrico	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	Percentual (%)
Ap. em <i>stand-by</i>	17,34	17,34	15,60	17,34	67,61	1,22
Ar-condicionado	372,00	372,00	336,00	240,00	1.320,00	23,82
Chuveiro/torneira	59,18	59,18	53,68	59,18	231,22	4,17
Ferro elétrico	14,40	14,40	14,40	14,40	57,60	1,04
Freezer	46,13	46,13	41,66	46,13	180,05	3,25
Geladeira	155,00	155,00	140,00	155,00	605,00	10,92
Iluminação	294,29	287,47	260,03	301,11	1.142,89	20,62
Lava-louças	22,67	22,67	22,67	22,67	90,67	1,64
Secadora de roupas	24,00	24,00	24,00	24,00	96,00	1,73
Secretária eletrônica	14,88	14,88	13,44	14,88	58,08	1,05
Ap. elétricos Cozinha	88,71	88,71	88,71	88,71	354,83	6,40
Outros	327,69	334,51	305,44	370,05	1.337,69	24,14
CONSUMO TOTAL	1.436,28	1.436,28	1.315,62	1.353,46	5.541,64	-

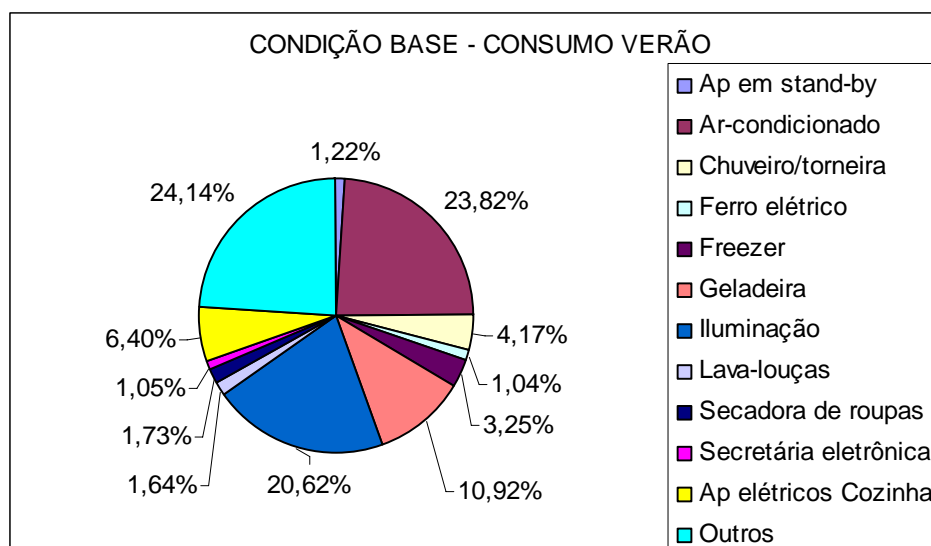


Figura 5-7: Gráfico de pizza do consumo de energia no verão para a condição base

Já para o período de inverno, os valores apresentados na Tabela 5-26 e na Figura 5-8 mostram que os maiores consumidores de energia são chuveiro e torneira elétricos, geladeira e iluminação, sendo esta última responsável por consumir mais que o restante de todos os equipamentos não especificados no estudo.

Tabela 5-26: Consumos de energia no inverno para a condição base

CONDIÇÃO BASE						
Consumo Inverno	Junho	Julho	Agosto	Setembro	TOTAL	Consumo
Equipamento elétrico	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	Percentual (%)
Ap. em <i>stand-by</i>	16,76	17,34	17,34	16,76	68,19	1,45
Chuveiro/torneira	154,62	162,95	162,95	150,87	631,38	13,47
Ferro elétrico	14,40	14,40	14,40	14,40	57,60	1,23
Freezer	44,64	46,13	46,13	44,64	181,54	3,87
Geladeira	150,00	155,00	155,00	150,00	610,00	13,02
Iluminação	352,12	371,17	371,17	352,12	1.446,57	30,86
Lava-louças	22,67	22,67	22,67	22,67	90,67	1,93
Secadora de roupas	24,00	24,00	24,00	24,00	96,00	2,05
Secretária eletrônica	14,40	14,88	14,88	14,40	58,56	1,25
Ap. elétricos Cozinha	96,71	96,71	96,71	92,71	382,83	8,17
Outros	277,73	255,45	251,25	279,01	1.063,43	22,69
CONSUMO TOTAL	1.168,04	1.180,68	1.176,48	1.161,57	4.686,78	-

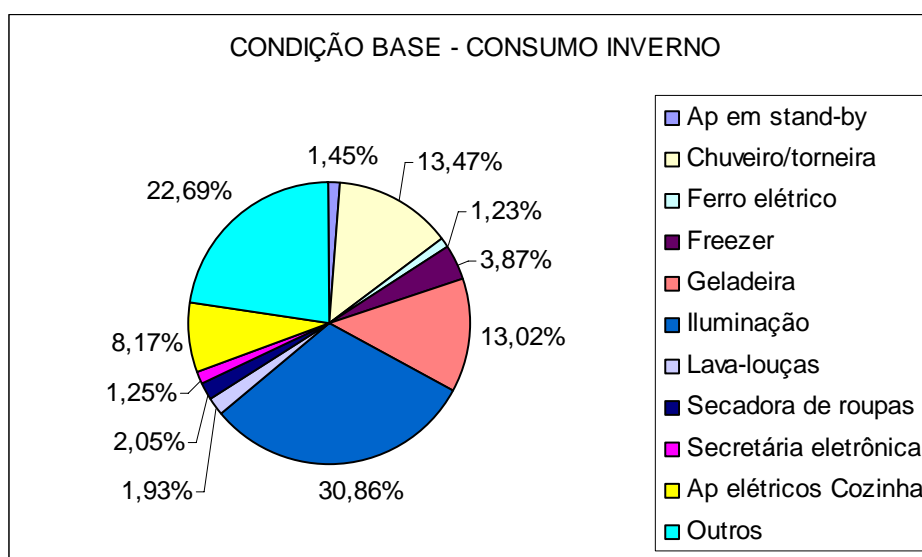


Figura 5-8: Gráfico de pizza do consumo de energia no inverno para a condição base

Alguns equipamentos não representados nestes gráficos por contribuírem com parcelas pouco significativas do consumo total também podem ser substituídos ou ter seu consumo reduzido. A escolha de realizar tais modificações segue a premissa de se obter o máximo de economia possível para o projeto fotovoltaico.

5.2.2. Análise do Nível de Iluminância para a Condição Base

Normalmente a escolha da lâmpada que iluminará cada ambiente não é feita considerando os níveis adequados de iluminância conforme a NBR5413. Esta escolha é quase sempre aleatória, onde o consumidor pode ter a falsa impressão de estar iluminando corretamente sua residência, quando na verdade pode estar muito acima ou abaixo do nível apropriado.

A condição base estudada neste projeto teve os níveis de iluminância de cada ambiente calculados através do método apresentado no Capítulo 4. É importante ressaltar que, complementando a iluminação geral dos cômodos, existe também uma iluminação local extra nos quartos, sala de estar, cozinha e banheiros, necessária a atividades como ler, cozinhar, etc. Os valores encontrados estão disponibilizados na Tabela 5-27.

Pelos valores encontrados para as variâncias é possível perceber que quase todos os ambientes da residência não estão adequadamente iluminados. Isto significa que, além de estarem contribuindo para um consumo alto de energia, as lâmpadas utilizadas não estão satisfazendo os requisitos necessários para promover o conforto visual do consumidor. Estes valores serão corrigidos como parte das medidas de eficiência energética, sendo que a escolha das novas lâmpadas será feita após um novo estudo dos níveis de iluminância, para confirmar a adequação destas ao ambiente que irão iluminar.

Tabela 5-27: Valores encontrados no estudo da iluminância para a condição base

Ambiente	Iluminância (lux)	Área (m ²)	Potência (W)	Quantidade	Fluxo Luminoso (lm)	Tipo de Lâmpada	Preço (R\$)	Vida Média da Lâmpada (horas)
Quartos	150	13,00	60	2	864	Incandescente	0,99	1.000
Sala de Estar	150	26,00	60	4	864	Incandescente	0,99	1.000
Sala de Jantar	150	26,00	60	4	864	Incandescente	0,99	1.000
Cozinha	150	22,00	100	2	1.620	Incandescente	1,29	1.000
Área de Serviço	150	6,50	60	1	864	Incandescente	0,99	1.000
Banheiro Suíte	150	6,50	60	1	864	Incandescente	0,99	1.000
Banheiro Social	150	5,20	60	1	864	Incandescente	0,99	1.000
Corredor	100	8,00	40	2	516	Incandescente	0,99	1.000
Varanda	100	23,00	60	3	864	Incandescente	0,99	1.000
Garagem	100	35,50	100	2	1.620	Incandescente	1,29	1.000
Lavabo	150	2,50	40	1	516	Incandescente	0,99	1.000
Banheiro de Serviço	150	2,00	40	1	516	Incandescente	0,99	1.000
Despensa	300	1,00	40	1	516	Incandescente	0,99	1.000
Área Externa	100	176,09	100	10	1.620	Incandescente	1,29	1.000
Iluminação Local	300	-	40	1	516	Incandescente	0,99	1.000

Tabela 5-27: Valores encontrados no estudo da iluminância para a condição base (continuação)

Ambiente	Nº de Unidades	Carga Total (W)	Eficiência Lâmpada (%)	Quantidade Indicada	Iluminância Real (lux)	Variância (%)	Manutenção Anual (R\$)
Quartos	3	360	14,40	2	132,92	-11,39	5,94
Sala de Estar	1	240	14,40	5	132,92	-11,39	3,96
Sala de Jantar	1	240	14,40	5	132,92	-11,39	3,96
Cozinha	1	200	16,20	2	147,27	-1,82	2,58
Área de Serviço	1	60	14,40	1	132,92	-11,39	0,99
Banheiro Suíte	1	60	14,40	1	132,92	-11,39	0,99
Banheiro Social	1	60	14,40	1	166,15	10,77	0,99
Corredor	1	80	12,90	2	129,00	29,00	1,98
Varanda	1	180	14,40	3	112,70	12,70	2,97
Garagem	1	200	16,20	2	91,27	-8,73	2,58
Lavabo	1	40	12,90	1	206,40	37,60	0,99
Banheiro de Serviço	1	40	12,90	1	258,00	72,00	0,99
Despensa	1	40	12,90	1	516,00	72,00	0,99
Área Externa	1	1.000	16,20	11	92,00	-8,00	12,90
Iluminação Local	10	400	12,90	0	0,00	0,00	9,90
Total	-	3.200	-	-	-	-	52,71

5.2.3. Medidas de Eficiência Energética Realizadas

Feita a análise do consumo de energia e dos níveis de iluminância, é possível implementar as medidas de eficiência energética que tornarão a residência mais adequada para receber o sistema fotovoltaico. As medidas serão realizadas somente em relação aos equipamentos elétricos, e estão divididas em três categorias: equipamentos que serão substituídos, que terão seu uso reduzido e que deixarão de ser utilizados. Para cada equipamento listado abaixo, foi apresentada primeiramente a justificativa para a mudança, e, em seguida, a medida que será adotada para tornar a residência mais eficiente.

a) Equipamentos que serão substituídos:

- Ar-condicionado: são aparelhos antigos, pouco eficientes, o que os torna responsáveis por mais de 20% do consumo total da residência no verão. Podem ser trocados por modelos novos, mais eficientes. Optou-se pelo uso de ar-condicionado de tecnologia *split*, com selo de eficiência do PROCEL, que consome cerca de 40% a menos do que modelos de ar-condicionado tradicionais.
- Chuveiro elétrico/torneira elétrica: contribuem para o alto consumo de energia em qualquer residência. Na região metropolitana do Rio de Janeiro podem ser substituídos por aquecedores a gás ou solar. Serão instalados dois aquecedores a gás, sendo um para a suíte e o banheiro social e um para a cozinha e o banheiro de serviço.
- Geladeira: este aparelho é um modelo antigo e, portanto, apresenta grande consumo de energia. Será substituído por modelo mais novo e eficiente com etiqueta A do PROCEL.
- Iluminação: como já foi mostrado no estudo dos níveis de iluminância, as lâmpadas utilizadas estão, em sua maioria, inadequadas para as dimensões do ambiente onde se encontram, além de que, por serem lâmpadas incandescentes, consomem muito mais energia do que as fluorescentes, são menos eficientes e duram até oito vezes menos. Contribuem também para o

aquecimento do ambiente, pois, da energia que consomem apenas cerca de 5% se transforma em energia luminosa, sendo o resto desperdiçado na forma de calor (CEPEL, 2004). Todas as lâmpadas serão substituídas por modelos fluorescentes, sendo que um novo estudo do nível de iluminância determinará a lâmpada mais adequada para cada ambiente da residência.

- Aparelho de fondue elétrico: a função exercida por este aparelho é a mesma de modelos não elétricos, portanto a sua substituição contribuirá para a redução do consumo de energia. Foi escolhido um modelo semelhante ao já existente, mas com funcionamento a álcool.
- Forno elétrico: um forno que funcione com eletricidade é necessário apenas em localidades que não possuem gás encanado. E mesmo nestas, existe a opção de se utilizar botijão de gás. Este equipamento será trocado por um fogão a gás.

b) Equipamentos que terão seu uso reduzido:

- Ferro elétrico: pode-se diminuir o uso deste aparelho, acumulando maior quantidade de roupas para passar de uma só vez e com uma melhor seleção das roupas que devem ser passadas (algumas não têm esta necessidade, podem ser apenas dobradas logo após secarem).
- Frigobar: como este aparelho fica na área externa da residência, perto da piscina, acaba sendo utilizado apenas quando esta é usada, ou seja, nos fins-de-semana, mas permanece ligado todo o tempo. Como é um aparelho de pequeno porte, o tempo que leva para o frigobar atingir sua temperatura de resfriamento é baixo, compensando o seu desligamento quando seu uso não se fizer necessário.
- Lavadora de roupas: pode ter seu uso reduzido se for aproveitada toda a capacidade da máquina em todas as lavagens. Deve-se acumular maior quantidade de roupas de cada vez, evitando assim desperdício de energia e de água.
- Lava-louças: pode ser menos utilizada, com uma mudança de hábitos, como lavar a louça manualmente quando a quantidade for pouca e deixar o uso do

aparelho apenas para quando houver um acúmulo maior de louça de uma única vez, ou nos fins-de-semana.

- Secadora de roupas: pode ser substituída na maioria das vezes por varais, para que as roupas sequem naturalmente, já que a área de serviço é espaçosa, e há também a área externa disponível. Este equipamento deve ser usado apenas esporadicamente.
- Secador de cabelos e Prancha alisadora: possuem potência elevada. A redução de seu uso é um reflexo da mudança de hábitos para evitar o desperdício de energia.
- Secretária eletrônica: permanece ligada o tempo todo. Pode funcionar apenas quando seu uso é necessário, ou seja, quando não houver ninguém em casa.

c) Equipamentos que serão dispensados:

- Aparelhos em *stand-by*: apesar de contribuírem pouco para o consumo total, podem ser desligados da tomada, evitando o desperdício, pois estão consumindo energia sem nenhuma necessidade, apenas para promover um conforto a mais para o consumidor. Para facilitar esta medida, optou-se pelo uso de filtro de linha nestes aparelhos, pois assim evita-se o trabalho de ter de retirar todos da tomada para desligá-los totalmente. O uso de filtros de linha deve, contudo, ser feito com cautela, pois nem todo aparelho pode ser conectado aos mesmos, sendo necessário verificar a potência do equipamento. O forno de microondas, por exemplo, possui uma potência muito alta e sua corrente queimaria o fusível do filtro de linha. Neste caso deve-se conectá-lo diretamente da tomada e retirá-lo desta quando não estiver sendo utilizado.
- Forno a resistência: não é muito necessário, visto que a residência já possui torradeira. O forno a gás também pode ser usado em seu lugar.
- *Freezer*: seu uso é dispensável, podendo ser substituído pelo congelador. O freezer se fazia mais necessário em época de alta inflação, onde era costume comprar grandes quantidades de alimentos de uma única vez para durar por

períodos mais longos. Atualmente não há mais necessidade de estocagem de alimentos desta forma, portanto o freezer pode ser retirado.

- Outros eletroportáteis de cozinha (Fritadeira elétrica, Panela elétrica, Panificadora, Pipoqueira): possuem potências muito altas, contribuindo para o consumo exagerado de energia elétrica. Feitos pensando na praticidade que trazem para o consumidor, quando usados em demasia não compensam o custo de energia. O serviço proporcionado por estes aparelhos pode ser realizado pelo fogão ou forno de microondas.

5.2.4. Análise do Nível de Iluminância para a Condição Proposta

O programa para cálculo dos níveis de iluminância foi utilizado agora para analisar os ambientes da residência após a implementação das medidas de eficiência energética, com a substituição das lâmpadas incandescentes por modelos fluorescentes. As potências para as lâmpadas novas foram escolhidas com base na menor variância possível para o nível de iluminância ideal de cada ambiente. Os novos valores estão representados na Tabela 5-28.

Tabela 5-28: Valores encontrados no estudo da iluminância para a condição proposta

Ambiente	Iluminância (lux)	Área (m ²)	Potência (W)	Quantidade	Fluxo Luminoso (lm)	Tipo de Lâmpada	Preço (R\$)	Vida Média da Lâmpada (horas)
Quartos	150	13,00	15	2	1.000	Fluorescente Compacta	14,99	8.000
Sala de Estar	150	26,00	15	4	1.000	Fluorescente Compacta	14,99	8.000
Sala de Jantar	150	26,00	15	4	1.000	Fluorescente Compacta	14,99	8.000
Cozinha	150	22,00	27	2	1.660	Fluorescente Compacta	10,60	8.000
Área de Serviço	150	6,50	15	1	1.000	Fluorescente Compacta	14,99	8.000
Banheiro Suíte	150	6,50	15	1	1.000	Fluorescente Compacta	14,99	8.000
Banheiro Social	150	5,20	14	1	800	Fluorescente Compacta	8,55	8.000
Corredor	100	8,00	8	2	420	Fluorescente Compacta	11,99	8.000
Varanda	100	23,00	14	3	800	Fluorescente Compacta	8,55	8.000
Garagem	100	35,50	27	2	1.750	Fluorescente Compacta	10,60	8.000
Lavabo	150	2,50	8	1	420	Fluorescente Compacta	11,99	8.000
Banheiro de Serviço	150	2,00	6	1	290	Fluorescente Compacta	6,89	8.000
Despensa	300	1,00	6	1	290	Fluorescente Compacta	6,89	8.000
Área Externa	100	176,09	27	10	1.750	Fluorescente Compacta	10,60	8.000
Iluminação Local	300		11	1	590	Fluorescente Compacta	8,60	8.000

Tabela 5-28: Valores encontrados no estudo da iluminância para a condição proposta (continuação)

Ambiente	Nº de Unidades	Carga Total (W)	Eficiência Lâmpada (%)	Quantidade Indicada	Iluminância Real (lux)	Variância (%)	Investimento Inicial (R\$)	Manutenção Anual (R\$)
Quartos	3	90	66,67	2	153,85	2,57	89,94	11,24
Sala de Estar	1	60	66,67	4	153,85	2,57	59,96	7,50
Sala de Jantar	1	60	66,67	4	153,85	2,57	59,96	7,50
Cozinha	1	54	61,48	2	150,91	0,61	21,20	2,65
Área de Serviço	1	15	66,67	1	153,85	2,57	14,99	1,87
Banheiro Suíte	1	15	66,67	1	153,85	2,57	14,99	1,87
Banheiro Social	1	14	57,14	1	153,85	2,57	8,55	1,07
Corredor	1	16	52,50	2	105,00	5,00	23,98	3,00
Varanda	1	42	57,14	3	104,35	4,35	25,65	3,21
Garagem	1	54	64,81	2	98,59	-1,41	21,20	2,65
Lavabo	1	8	52,50	1	168,00	12,00	11,99	1,50
Banheiro de Serviço	1	6	48,33	1	145,00	-3,33	6,89	0,86
Despensa	1	6	48,33	1	290,00	-3,33	6,89	0,86
Área Externa	1	270	64,81	10	99,38	-0,62	106,00	13,25
Iluminação Local	10	110	53,64	0	0,00	0,00	86,00	10,75
Total	-	820	-	-	-	-	558,19	69,77

Pela variância apresentada para cada ambiente da residência, percebe-se que estas novas lâmpadas estão mais adequadas do que aquelas utilizadas na condição base. Apesar do investimento inicial necessário para a troca de todas as lâmpadas ser alto, a grande economia de energia e, conseqüentemente, a economia de custo que será feita justifica esta medida, mesmo que o usuário decida não instalar um sistema fotovoltaico em sua residência.

A Tabela 5-29 reúne todas as medidas de eficiência energética adotadas na condição proposta, com seus respectivos investimentos iniciais, caso existam.

Tabela 5-29: Medidas de eficiência energética adotadas para a condição proposta

Equipamento	Ação	Investimento Inicial (R\$)
Aparelho de <i>fondue</i>	Trocar por modelo a gás	119,90
Aparelhos em <i>stand-by</i>	Desligar da tomada	-
Ar-condicionado	Trocar por modelo <i>split</i> com selo do PROCEL	5.000,00
Chuveiro	Trocar por aquecedor a gás	389,00
Ferro elétrico	Diminuir dias de uso/acumular maior quantidade de roupas	-
Forno à resistência	Retirar/usar forno ou torradeira	-
Forno elétrico	Trocar por modelo a gás	1.099,00
<i>Freezer</i>	Retirar/usar congelador	-
Frigobar	Diminuir dias de uso	-
Fritadeira elétrica	Retirar/usar fogão	-
Geladeira	Trocar por modelo mais novo e eficiente com selo do PROCEL	1.799,00
Iluminação	Trocar por lâmpadas fluorescentes	558,19
Lavadora de roupa	Diminuir dias de uso/usar capacidade máxima em todas as lavagens	-
Lava-louças	Diminuir dias de uso	-
Panela elétrica	Retirar/usar fogão	-
Panificadora	Retirar	-
Pipoqueira	Usar fogão ou microondas	-
Prancha alisadora	Diminuir dias de uso	-
Secadora de roupa	Diminuir dias de uso	-
Secador de cabelo	Diminuir dias de uso	-
Secretária eletrônica	Deixar ligada só quando sair de casa	-
Torneira elétrica	Trocar por aquecedor a gás	389,00
TOTAL	-	9.354,09

5.2.5. Cálculo do Consumo de Energia

Após efetuar as medidas de eficiência energética, foi feita uma nova lista dos equipamentos presentes na residência e de suas respectivas potências, representada na Tabela 5-30.

Tabela 5-30: Equipamentos presentes na residência para a condição proposta

Condição Proposta		
Quarto de Casal	Potência (W)	Quantidade
Ar-condicionado	290	1
Aparelho de DVD	12	1
Carregador de celular	10	2
Decodificador TV	30	1
Rádio-relógio	6	1
Televisão LCD 26"	105	1
Ventilador de teto	125	1
<i>Microsystem</i>	15	1
Carregador de pilhas	33	1
Laptop	70	1
Iluminação	15	2
Iluminação Local	11	2
Banheiro Suíte	Potência (W)	Quantidade
Depilador	8	1
Barbeador elétrico	3	1
Secador de cabelo	1.600	1
Prancha alisadora	78	1
Iluminação	15	1
Iluminação Local	11	1
Quarto Filhos	Potência (W)	Quantidade
Ar-condicionado	290	2
Carregador de celular	10	2
Televisão LCD 19"	60	2
Ventilador de teto	125	2
<i>Microsystem</i>	15	2
Rádio-relógio	6	2
Decodificador TV	30	2
Iluminação	15	4
Iluminação Local	11	2
Banheiro Social	Potência (W)	Quantidade
Iluminação	14	1
Iluminação Local	11	1
Corredor	Potência (W)	Quantidade
Iluminação	8	2
Lavabo	Potência (W)	Quantidade
Iluminação	8	1
Sala de Estar	Potência (W)	Quantidade
Televisão LCD 40"	180	1
Decodificador TV	30	1

Tabela 5-30: Equipamentos presentes na residência para a condição proposta (continuação)

Sala de Estar	Potência (W)	Quantidade
Telefone sem fio	10	1
Secretária eletrônica	20	1
Ventilador de teto	125	1
Microcomputador	150	1
Impressora	20	1
<i>Home Theater</i>	40	1
Videogame	79	1
Videocassete	20	1
Iluminação	15	4
Iluminação Local	11	2
Sala de Jantar	Potência (W)	Quantidade
Iluminação	15	4
Cozinha	Potência (W)	Quantidade
Cafeteira elétrica	1.000	1
Centrifúga/ <i>Juicer</i>	350	1
Depurador de ar	200	1
Forno de Microondas	1.200	1
Geladeira	136	1
<i>Grill</i>	850	1
Torradeira	700	1
Liquidificador	450	1
Multiprocessador	300	1
Aspirador de pó	1.300	1
Som Portátil	10	1
Batedeira	175	1
Iluminação	27	2
Iluminação Local	11	1
Área de Serviço	Potência (W)	Quantidade
Ferro elétrico	1.200	1
Lava-louças	1.700	1
Lavadora de roupa	775	1
Secadora de roupa	2.000	1
Iluminação	11	1
Despensa	Potência (W)	Quantidade
Iluminação	6	1
Banheiro de Serviço	Potência (W)	Quantidade
Iluminação	6	1
Iluminação Local	11	1
Área Externa	Potência (W)	Quantidade
Cortador de grama	1.050	1
Filtro de Piscina	613	1
Frigobar	28	1
Iluminação	27	10
Garagem	Potência (W)	Quantidade
Iluminação	27	2
Varanda	Potência (W)	Quantidade
Iluminação	14	3

Com os novos valores dos aparelhos elétricos, o programa de cálculo de consumo descrito no item 4.1 foi utilizado, como na condição base, para determinar o consumo de energia da residência ao longo de um dia típico e um dia de fim-de-semana para todos os meses do ano, obtendo assim os consumos mensais para um ano. Os novos valores para os consumos estimados para um dia típico e para o fim-de-semana estão representados na Figura 5-9 e Figura 5-10.

a) Consumo de um Dia Típico:

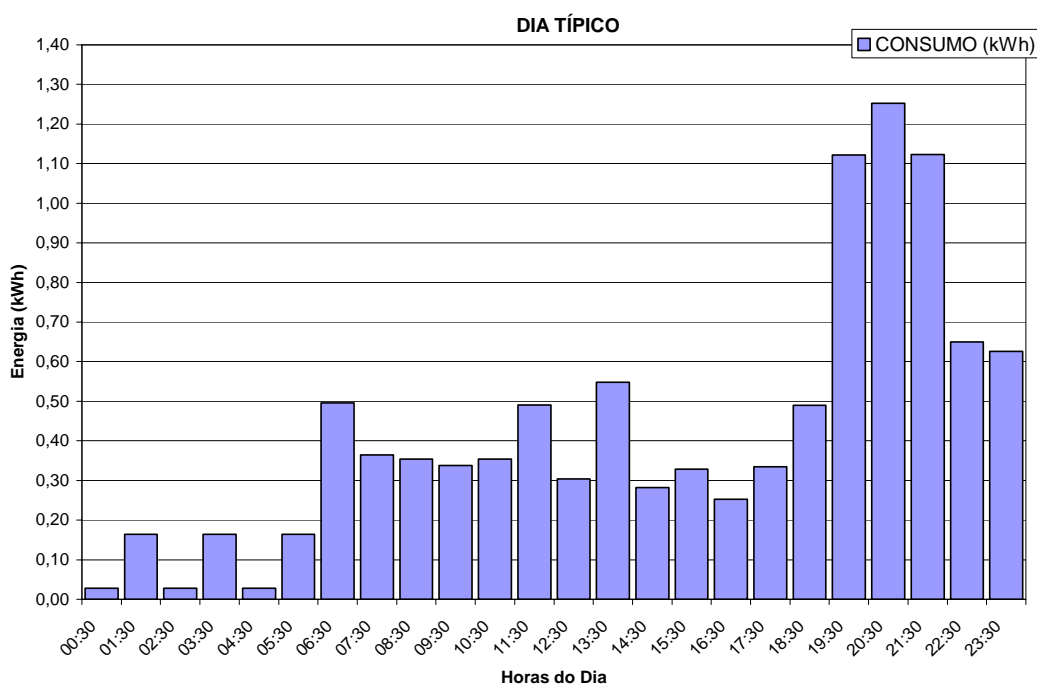


Figura 5-9: Gráfico do consumo de energia de um dia típico para a condição proposta

Pela Figura 5-9 é possível perceber que o consumo de energia diminuiu significativamente. Na condição base, o pico de consumo para um dia típico era de 2,95 kWh e agora passou a ser de 1,25 kWh, ou seja, foram economizados 1,7 kWh no horário de pico.

b) Consumo de um Dia de Fim-de-Semana:

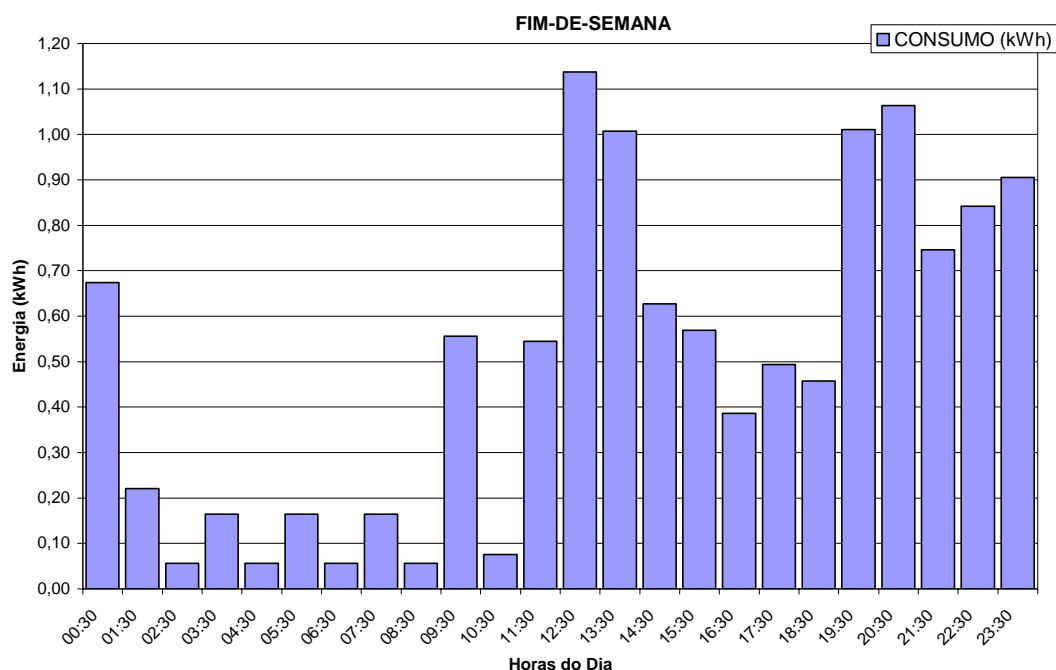


Figura 5-10: Gráfico do consumo de energia para um dia de fim-de-semana

A Figura 5-10 apresenta aproximadamente a mesma redução de consumo conseguida no dia típico, pois diferença entre os picos de consumo, que na condição base era de 2,8 kWh, na condição proposta é de 1,14 kWh, é de 1,66 kWh para o fim-de-semana.

Os gráficos apresentados mostram que o consumo de energia elétrica da residência, tanto para um dia típico quanto para um dia de fim-de-semana, diminuiu em mais de 50% com relação à condição base, após terem sido efetuadas as medidas de eficiência energética.

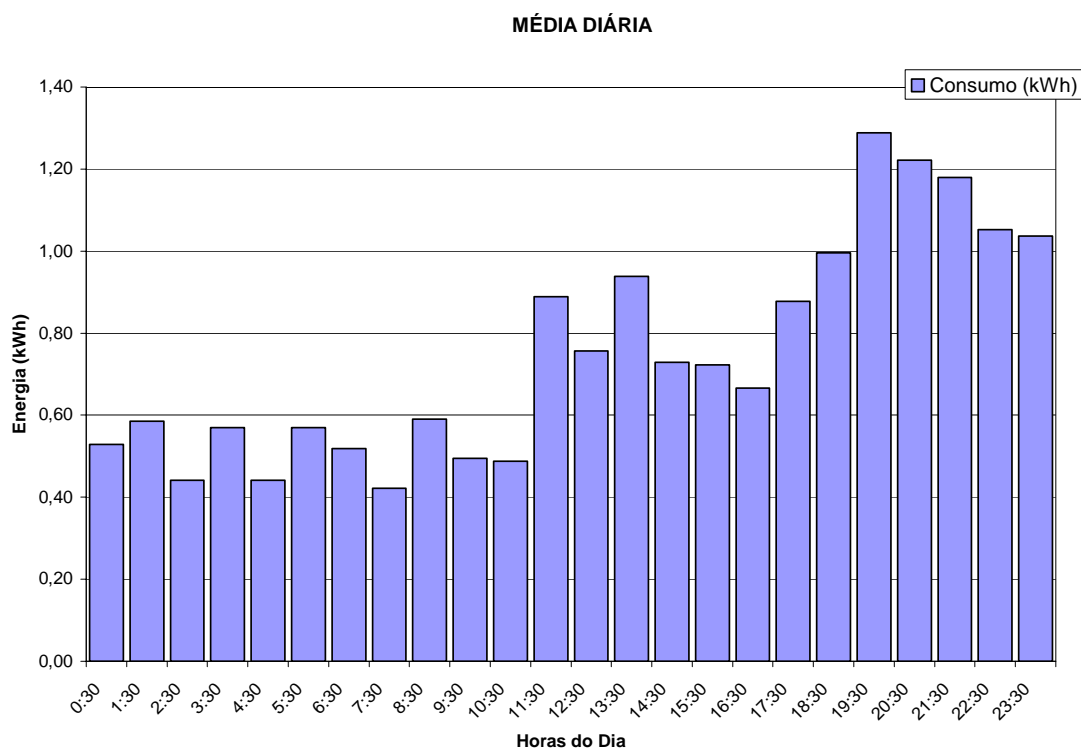
c) Consumo Mensal:

Os consumos e os custos mensais totais da energia elétrica para a condição proposta estão representados na Tabela 5-31, onde é possível confirmar a grande economia obtida, já que na condição base os valores anuais de consumo e custo eram de 15.126,48kWh e R\$7.563,24 respectivamente, e agora valem 6.563,60 kWh e R\$3.281,80.

Tabela 5-31: Consumos e custos de energia da condição proposta para o período de um ano

Mês	Condição Proposta	
	Consumo de energia (kWh)	Custo de energia elétrica (R\$)
Janeiro	685,14	342,57
Fevereiro	625,91	312,95
Março	648,93	324,47
Abril	604,47	302,23
Maio	499,59	249,79
Junho	433,09	216,54
Julho	428,38	214,19
Agosto	424,18	212,09
Setembro	437,29	218,64
Outubro	485,48	242,74
Novembro	606,00	303,00
Dezembro	685,14	342,57
TOTAL	6.563,60	3.281,80

Assim como na condição base, foi feita também a curva de carga a partir da média dos consumos mensais. A Figura 5-11 também confirma a redução do consumo de energia da residência, lembrando que o pico de consumo para a curva de carga média na condição base chegava a 3,75 kWh e agora é de 1,29 kWh.

**Figura 5-11: Consumo diário médio para os valores obtidos na condição proposta**

5.2.6. Comparação entre as Condições:

Para melhor comparar as diferenças entre os consumos e custos de energia das condições base e proposta, estão representados a seguir, através da Tabela 5-32 e da Figura 5-12, os valores obtidos para os consumos e custos mensais, onde a diferença entre as duas condições foi calculada, encontrando assim, a economia alcançada com as medidas de eficiência energética.

Tabela 5-32: Valores de consumo e custo de energia obtidos nas condições base e proposta

Mês	Condição Base		Condição Proposta		Economia	
	Consumo de energia (kWh)	Custo de energia elétrica (R\$)	Consumo de energia (kWh)	Custo de energia elétrica (R\$)	Consumo de energia (kWh)	Custo de energia elétrica (R\$)
Janeiro	1.436,28	718,14	685,14	342,57	751,14	375,57
Fevereiro	1.315,62	657,81	625,91	312,95	689,71	344,86
Março	1.353,46	676,73	648,93	324,47	704,53	352,27
Abril	1.277,42	638,71	604,47	302,23	672,95	336,48
Mai	1.254,93	627,46	499,59	249,79	755,34	377,67
Junho	1.168,04	584,02	433,09	216,54	734,95	367,48
Julho	1.180,68	590,34	428,38	214,19	752,30	376,15
Agosto	1.176,48	588,24	424,18	212,09	752,30	376,15
Setembro	1.161,57	580,78	437,29	218,64	724,28	362,14
Outubro	1.103,10	551,55	485,48	242,74	617,61	308,81
Novembro	1.262,61	631,31	606,00	303,00	656,61	328,31
Dezembro	1.436,28	718,14	685,14	342,57	751,14	375,57
TOTAL	15.126,48	7.563,24	6.563,60	3.281,80	8.562,88	4.281,44

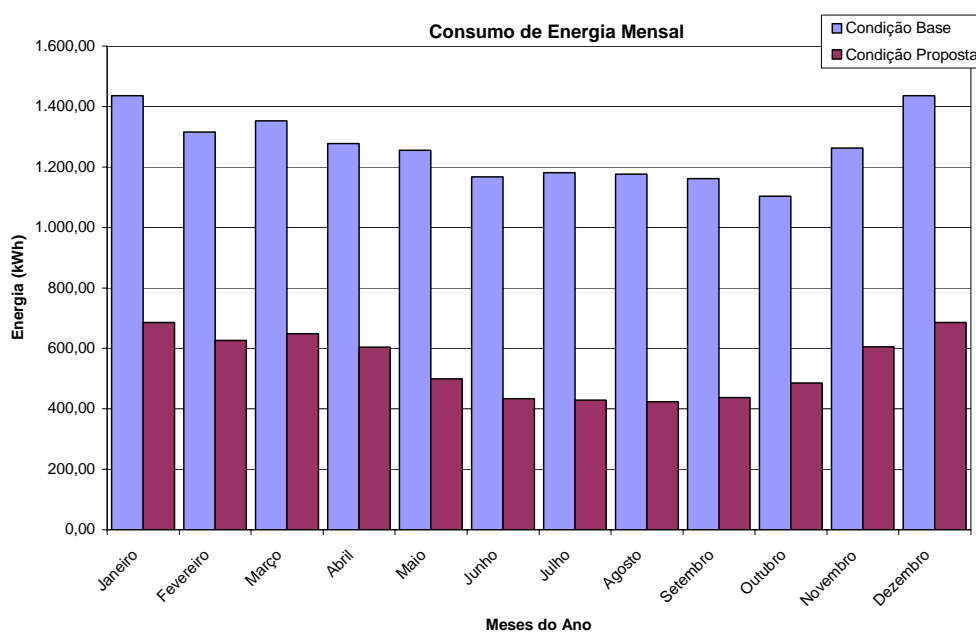


Figura 5-12: Comparação entre os consumos mensais das condições base e proposta

Foram também analisados, em gráficos de pizza, os consumos dos equipamentos que são os principais responsáveis pelo gasto de energia da residência, como havia sido feito antes da implementação das medidas de eficiência energética.

Os valores para o período de verão estão representados na Tabela 5-33 e na Figura 5-13.

Tabela 5-33: Consumos de energia no verão para a condição proposta

CONDIÇÃO PROPOSTA						
Consumo Verão	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	TOTAL	Consumo Percentual
Equipamento elétrico	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	(%)
Ar-condicionado	215,76	215,76	194,88	139,20	765,60	28,94
Ferro elétrico	4,80	4,80	4,80	4,80	19,20	0,73
Geladeira	50,64	50,64	45,74	50,64	197,65	7,47
Iluminação	76,40	76,40	69,08	79,87	301,75	11,41
Lava-louças	4,53	4,53	4,53	4,53	18,13	0,69
Secadora de roupas	4,00	4,00	4,00	4,00	16,00	0,60
Secretária eletrônica	6,82	6,82	6,16	6,82	26,62	1,01
Outros	322,19	322,19	296,72	359,07	1.300,18	49,15
CONSUMO TOTAL	685,14	685,14	625,91	648,93	2.645,13	-

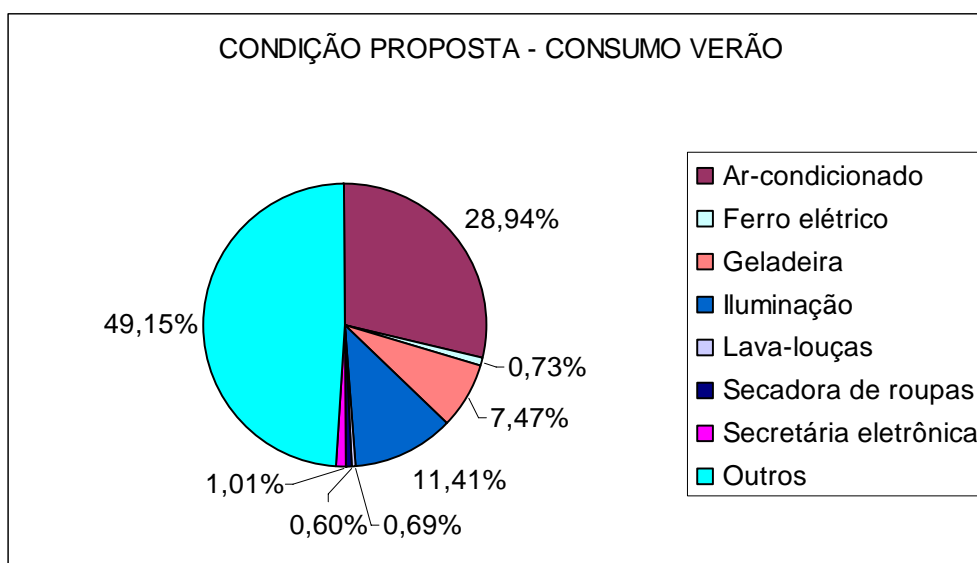


Figura 5-13: Gráfico de pizza do consumo de energia no verão para a condição proposta

Primeiramente, pode-se reparar que a soma dos consumos dos equipamentos em destaque, que antes representava mais de três quartos do consumo total, agora responde por um pouco mais da metade do total consumido pelos aparelhos elétricos presentes na residência. Nota-se também, que a porcentagem de cada equipamento em

destaque diminuiu em relação à condição base, com exceção do ar-condicionado. Isto, no entanto, não quer dizer que seu consumo aumentou, e sim que a parcela que o ar-condicionado ocupa no consumo total se tornou maior por haver menos equipamentos sendo comparados do que havia na condição base. Este fato se confirma quando é analisado o valor do consumo e não sua porcentagem, pois, antes de terem sido feitas as medidas de eficiência energética, os aparelhos de ar-condicionado eram responsáveis por 1.320,00 kWh ao longo dos meses de verão, e na condição proposta passaram a consumir apenas 765,60 kWh neste mesmo período.

Os consumos dos meses de inverno também foram todos reduzidos. Os equipamentos em destaque, que antes respondiam por quase 77% do consumo total da residência nesse período, agora passaram a representar aproximadamente 38% do total. Esta grande diferença se dá principalmente pela retirada de aparelhos que consumiam mais energia no inverno, como o chuveiro elétrico e a torneira elétrica e pela substituição das lâmpadas, que consumiam quase 31% do total na condição base e agora respondem por menos de 22% para os meses de inverno. Os novos valores de consumo dos equipamentos estão mostrados na Figura 5-14 e na Tabela 5-34.

Tabela 5-34: Consumos de energia no inverno para a condição proposta

CONDIÇÃO PROPOSTA						
Consumo Inverno	Junho	Julho	Agosto	Setembro	TOTAL	Consumo Percentual
Equipamento	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo (kWh)	(%)
Ferro elétrico	4,80	4,80	4,80	4,80	19,20	1,11
Geladeira	49,00	50,64	50,64	49,00	199,28	11,57
Iluminação	91,15	96,02	96,02	91,15	374,34	21,73
Lava-louças	4,53	4,53	4,53	4,53	18,13	1,05
Secadora de roupas	4,00	4,00	4,00	4,00	16,00	0,93
Secretária eletrônica	6,60	6,82	6,82	6,60	26,84	1,56
Outros	273,01	261,57	257,37	277,21	1.069,14	62,05
CONSUMO TOTAL	433,09	428,38	424,18	437,29	1.722,94	-

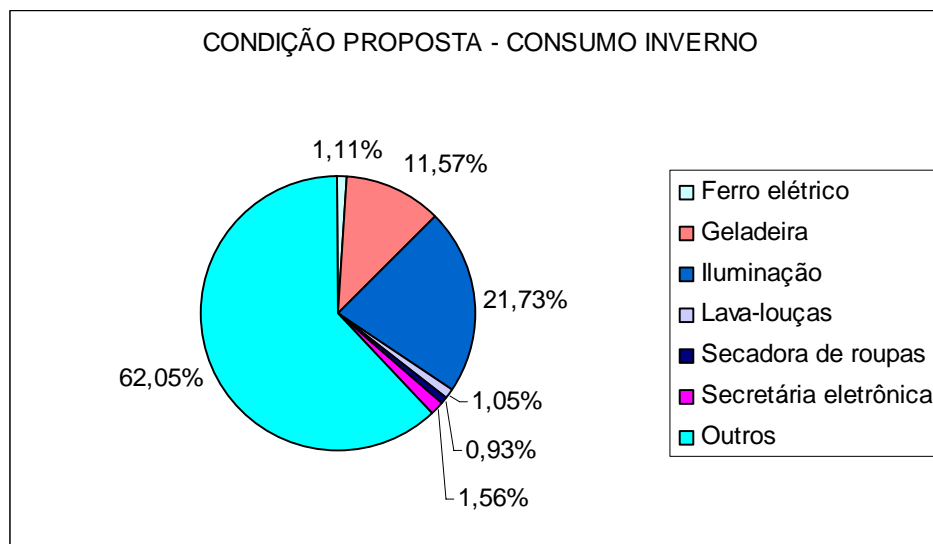


Figura 5-14: Gráfico de pizza do consumo de energia no inverno para a condição proposta

A partir da economia obtida com a redução do consumo de energia, pode-se calcular em quanto tempo o investimento inicial feito com a implementação das medidas de eficiência energética (o valor gasto com a aquisição de novos equipamentos) será recuperado. O tempo de retorno foi determinado através do método do *Payback* descontado, com uma taxa de desconto de 10%, utilizando a função *NPER* do Excel, como feito para todo o estudo. A Tabela 5-35 e a Tabela 5-36 mostram os resultados obtidos.

Tabela 5-35: Valores do fluxo de caixa para o investimento em novos equipamentos

Ano	Taxa de Desconto (%)	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo Ajustado (R\$)	Fluxo Acumulado Ajustado (R\$)
0		-9.354,09		-9.354,09
1	10	4.281,44	3.892,22	-5.461,87
2	10	4.281,44	3.538,38	-1.923,49
3	10	4.281,44	3.216,71	1.293,22
4	10	4.281,44	2.924,28	4.217,50
5	10	4.281,44	2.658,44	6.875,94

Tabela 5-36: Tempo de retorno do investimento em novos equipamentos para a condição proposta

Economia obtida pela redução do consumo de energia (R\$)	Investimento inicial em novos equipamentos (R\$)	Tempo de retorno do investimento (anos)
4.281,44	9.354,09	2,59

Observa-se que, com a economia obtida pela redução do consumo de energia elétrica, o investimento nos novos equipamentos mais eficientes será recuperado em pouco mais de 2 anos, tornando interessante a implementação das medidas de eficiência energética, mesmo que não seja considerada a instalação do sistema fotovoltaico.

5.2.7. Dimensionamento Preliminar do Sistema Fotovoltaico da Condição Proposta

O dimensionamento preliminar do sistema fotovoltaico foi feito com o auxílio da ferramenta descrita no item 4.2, assim como na condição base. As características dos módulos fotovoltaicos e da área disponível são os mesmos da condição base, e os cálculos para o tempo de retorno serão feitos para as mesmas três hipóteses de incentivos à geração fotovoltaica.

Assim como na condição base, primeiramente considerou-se a instalação de um número de módulos que gerasse energia suficiente para suprir a demanda de energia da residência no período de geração da energia fotovoltaica. Em seguida foi feito o dimensionamento para o mesmo número de módulos utilizados na condição base (21) e por último, considerando toda a área total disponível para instalação. Desta forma será possível comparar o impacto da redução do consumo da residência no dimensionamento do sistema fotovoltaico.

Pelos gráficos de demanda e geração disponibilizados pela ferramenta de dimensionamento, determinou-se que 9 módulos seriam o suficiente para atender à demanda de consumo da residência. A Figura 5-15 apresenta o gráfico que relaciona a geração fotovoltaica e o consumo de energia para o mês de Janeiro.

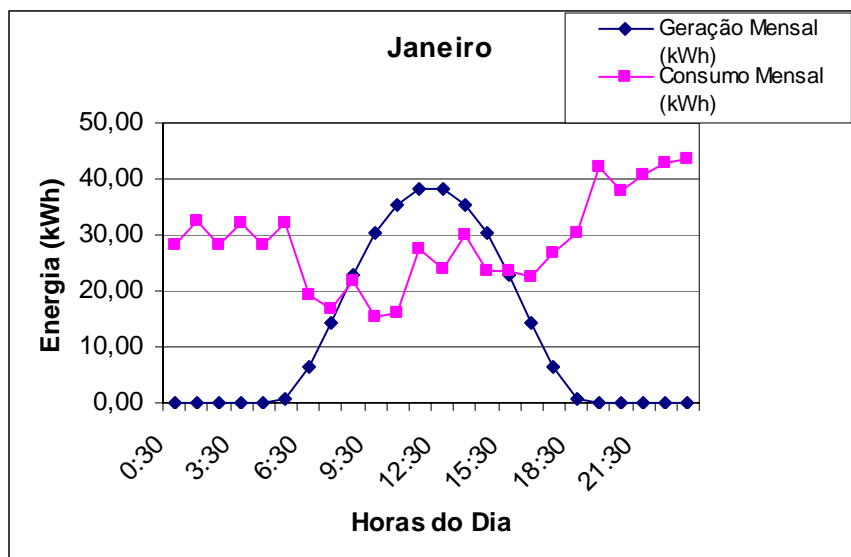


Figura 5-15: Relação entre geração horária média e demanda horária média para o mês de Janeiro com 9 módulos instalados na condição proposta

Os valores calculados no dimensionamento preliminar para a quantidade escolhida de módulos estão a seguir:

a) Área útil de geração de energia elétrica:

$$\text{Área Útil (m}^2\text{)} = \text{Número de módulos} \times \text{Área dos módulos sem moldura (m}^2\text{)}$$

$$\text{Área Útil} = 9 \times 1,31 = 11,76 \text{ m}^2$$

b) Área total utilizada:

$$\text{Área Total (m}^2\text{)} = \text{Número de módulos} \times \text{Área dos módulos com moldura (m}^2\text{)}$$

$$\text{Área Total} = 9 \times 1,41 = 12,69 \text{ m}^2$$

c) Potência instalada do sistema fotovoltaico:

$$\text{Potência Instalada (kWp)} = \frac{\text{Número de módulos} \times \text{Potência de cada módulo (Wp)}}{1.000}$$

$$\text{Potência Instalada} = \frac{9 \times 200}{1.000} = 1,8 \text{ kWp}$$

d) Energia gerada pelo sistema fotovoltaico:

Na Tabela 5-37 está representada a geração horária média de energia do mês de Janeiro, para 9 módulos instalados.

Tabela 5-37: Geração mensal de energia fotovoltaica para a instalação de 9 módulos

Hora	Radiação (Wh/m ²)	Geração Horária (kWh)
0:30	0	0,00
1:30	0	0,00
2:30	0	0,00
3:30	0	0,00
4:30	0	0,00
5:30	11	0,02
6:30	125	0,21
7:30	274	0,46
8:30	438	0,74
9:30	581	0,98
10:30	677	1,15
11:30	729	1,23
12:30	729	1,23
13:30	677	1,15
14:30	581	0,98
15:30	438	0,74
16:30	274	0,46
17:30	125	0,21
18:30	11	0,02
19:30	0	0,00
20:30	0	0,00
21:30	0	0,00
22:30	0	0,00
23:30	0	0,00
Total	5.670	9,60

e) Número máximo de módulos:

Como a área disponível para a instalação do sistema fotovoltaico é a mesma da condição base, o número máximo de módulos que podem integrar o sistema também é o mesmo, ou seja, 133 módulos.

f) Preço dos módulos fotovoltaicos:

Considerando o preço de instalação dos módulos em US\$10,00/Wp, o custo total do sistema para 9 módulos instalados será:

$$\text{Preço Total dos Módulos (US\$)} = \text{US\$10,00/Wp} \times \\ \times \text{Potência Instalada do Sistema (kWp)} \times 1.000$$

$$\text{Preço Total dos Módulos} = 10,00 \times 1,8 \times 1.000 = \text{US\$18.000,00}$$

$$\text{Preço Total dos Módulos (R\$)} = 1,73 \times \text{Preço Total dos Módulos (US\$)}$$

$$\text{Preço Total dos Módulos} = 1,73 \times 18.000,00 = \text{R\$31.140,00}$$

g) Investimento inicial:

Como foram realizadas novas aquisições de aparelhos elétricos como medidas de eficiência energética, o investimento inicial total será, além do preço da instalação do sistema fotovoltaico, a soma dos valores pagos pelos novos equipamentos adquiridos.

$$\begin{aligned} \text{Investimento Inicial (R\$)} &= \text{Preço Total dos Módulos (R\$)} + \\ &+ \text{Preço de Novos Equipamentos (R\$)} \\ \text{Investimento Inicial} &= 31.140,00 + 9.354,09 = \text{R\$40.494,09} \end{aligned}$$

h) Tempo de Retorno do Investimento:

O tempo de retorno para cada uma das hipóteses de incentivo à geração fotovoltaica foi determinado para as mesmas possibilidades consideradas na condição base.

o **1ª hipótese:**

O tempo de retorno do investimento foi calculado considerando a realidade do Brasil atualmente, onde não existem incentivos à geração de energia fotovoltaica. As possibilidades para este cenário de investimento estão a seguir.

• **Considerando o preço de instalação dos módulos a US\$10,00/Wp:**

A Tabela 5-38 apresenta a economia obtida pelo consumidor com a instalação do sistema que suprirá o consumo da residência durante o período de geração.

Tabela 5-38: Lucro obtido com a instalação de 9 módulos para a 1ª hipótese da condição proposta

Mês	Custo mensal de energia elétrica antes da instalação do sistema (R\$)	Custo mensal de energia elétrica após a instalação do sistema (R\$)	Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica (R\$)	Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)	Lucro total obtido pela instalação do sistema (R\$)
Janeiro	342,57	230,45	112,12	0,00	112,12
Fevereiro	312,95	211,60	101,36	0,00	101,36
Março	324,47	218,69	105,78	0,00	105,78
Abril	302,23	209,33	92,90	0,00	92,90
Mai	249,29	158,13	91,16	0,00	91,16
Junho	216,04	134,51	81,54	0,00	81,54
Julho	214,19	131,70	82,49	0,00	82,49
Agosto	212,09	129,92	82,17	0,00	82,17
Setembro	218,14	126,03	92,11	0,00	92,11
Outubro	242,24	142,65	99,59	0,00	99,59
Novembro	303,00	199,17	103,83	0,00	103,83
Dezembro	342,57	231,13	111,44	0,00	111,44
Total (R\$)	3.279,80	2.123,31	1.156,49	0,00	1.156,49

A Tabela 5-39 reúne os resultados calculados pelo programa de dimensionamento. O tempo de retorno para este investimento seria, como se pode observar, superior a 30 anos.

Tabela 5-39: Instalação de 9 módulos a US\$10,00/Wp para a 1ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	9
Preço de Instalação (US\$/Wp)	10,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	1,80
Área Útil de Geração (m ²)	11,76
Área Total Utilizada (m ²)	12,69
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	18.000,00
Preço Total Módulos (R\$)	31.140,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	40.494,09
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

- **Considerando o preço de instalação dos módulos a US\$7,00/Wp:**

Para a instalação do sistema composto por 9 módulos, considerando uma possível fabricação nacional dos mesmos, o custo total do sistema será:

$$\text{Preço Total dos Módulos (US\$)} = \text{US\$7,00/Wp} \times \text{Potência Instalada do Sistema (kWp)} \times 1.000$$

$$\text{Preço Total dos Módulos} = 7,00 \times 1,8 \times 1.000 = \text{US\$12.600,00}$$

$$\text{Preço Total dos Módulos (R\$)} = 1,73 \times \text{Preço Total dos Módulos (US\$)}$$

$$\text{Preço Total dos Módulos} = 1,73 \times 12.600,00 = \text{R\$21.798,00}$$

Considerando o investimento inicial em novos equipamentos, o investimento inicial total será:

$$\text{Investimento Inicial (R\$)} = \text{Preço Total dos Módulos (R\$)} + \text{Preço de Novos Equipamentos (R\$)}$$

$$\text{Investimento Inicial} = 21.798,00 + 9.354,09 = \text{R\$31.152,09}$$

A Tabela 5-40 traz os valores obtidos para o preço dos módulos a US\$7,00/Wp e o tempo de retorno, sendo este último superior à vida útil estimada para os módulos fotovoltaicos.

Tabela 5-40: Instalação de 9 módulos a US\$7,00/Wp para a 1ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	9
Preço de Instalação (US\$/Wp)	7,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	1,80
Área Útil de Geração (m ²)	11,76
Área Total Utilizada (m ²)	12,69
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	12.600,00
Preço Total Módulos (R\$)	21.798,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	31.152,09
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

- **Considerando 21 módulos instalados a US\$10,00/Wp:**

Os cálculos para a instalação de 21 módulos já foram feitos na condição base. A diferença para a condição proposta está na relação entre a geração de energia do sistema e a demanda da residência, como mostra a Figura 5-16.

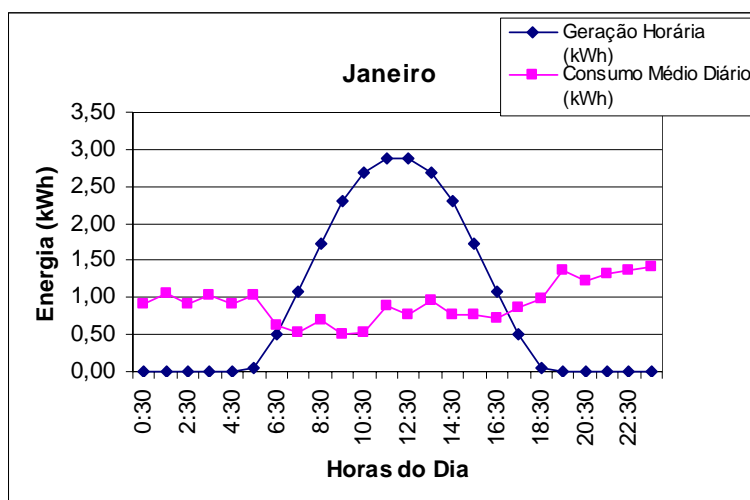


Figura 5-16: Relação entre geração horária média e demanda horária média para o mês de Janeiro com 21 módulos instalados na condição proposta

Tabela 5-41: Lucro obtido com a instalação de 21 módulos para a 1ª hipótese da condição proposta

Mês	Custo mensal de energia elétrica antes da instalação do sistema (R\$)	Custo mensal de energia elétrica após a instalação do sistema (R\$)	Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica (R\$)	Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)	Lucro total obtido pela instalação do sistema (R\$)
Janeiro	342,57	215,44	127,13	0,00	127,13
Fevereiro	312,95	198,41	114,54	0,00	114,54
Março	324,47	205,04	119,43	0,00	119,43
Abril	302,23	194,67	107,56	0,00	107,56
Mai	249,29	147,77	101,52	0,00	101,52
Junho	216,04	122,84	93,21	0,00	93,21
Julho	214,19	126,48	87,71	0,00	87,71
Agosto	212,09	124,52	87,57	0,00	87,57
Setembro	218,14	115,71	102,43	0,00	102,43
Outubro	242,24	129,41	112,83	0,00	112,83
Novembro	303,00	185,33	117,67	0,00	117,67
Dezembro	342,57	214,70	127,87	0,00	127,87
Total (R\$)	3.279,80	1.980,34	1.299,46	0,00	1.299,46

Como a demanda diminuiu, o custo pago por esta sem considerar a instalação do sistema fotovoltaico também diminuiu, o que faz a economia pela utilização da energia fotovoltaica ser menor do que no condição base, como pode ser visto pela Tabela 5-41. Isto ocorre somente porque o excesso de energia gerado é entregue de graça à rede.

A Tabela 5-42 apresenta os resultados obtidos com este cenário. Como é possível observar, a redução no consumo de energia da residência não foi suficiente para tornar este sistema viável economicamente.

Tabela 5-42: Instalação de 21 módulos a US\$10,00/Wp para a 1ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	21
Preço de Instalação (US\$/Wp)	10,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	4,20
Área Útil de Geração (m ²)	27,43
Área Total Utilizada (m ²)	29,61
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	42.000,00
Preço Total Módulos (R\$)	72.660,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	82.014,09
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

- **Considerando 21 módulos instalados a US\$7,00/Wp:**

Os resultados obtidos para a instalação de 21 módulos estão na Tabela 5-43. O tempo de retorno para este cenário permanece superior a 30 anos.

Tabela 5-43: Instalação de 21 módulos a US\$7,00/Wp para a 1ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	21
Preço de Instalação (US\$/Wp)	7,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	4,20
Área Útil de Geração (m ²)	27,43
Área Total Utilizada (m ²)	29,61
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	29.400,00
Preço Total Módulos (R\$)	50.862,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	60.216,09
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

- **Utilizando toda a área disponível para instalação dos módulos a US\$10,00/Wp:**

Os cálculos para o dimensionamento do sistema composto pelo número máximo de módulos já foram feitos para a condição base, por isso não há necessidade de repeti-los aqui.

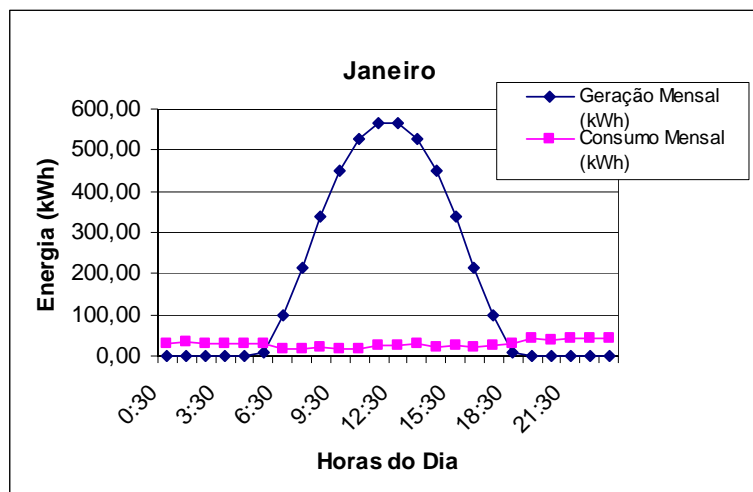


Figura 5-17: Relação entre geração horária média e demanda horária média para o mês de Janeiro com 133 módulos instalados na condição proposta

Tabela 5-44: Lucro obtido com a instalação de 133 módulos para a 1ª hipótese da condição proposta

Mês	Custo mensal de energia elétrica antes da instalação do sistema (R\$)	Custo mensal de energia elétrica após a instalação do sistema (R\$)	Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica (R\$)	Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)	Lucro total obtido pela instalação do sistema (R\$)
Janeiro	342,57	200,58	141,99	0,00	141,99
Fevereiro	312,95	188,41	124,54	0,00	124,54
Março	324,47	187,67	136,79	0,00	136,79
Abril	302,23	175,29	126,94	0,00	126,94
Maio	249,29	145,03	104,26	0,00	104,26
Junho	216,04	120,81	95,24	0,00	95,24
Julho	214,19	126,48	87,71	0,00	87,71
Agosto	212,09	114,07	98,02	0,00	98,02
Setembro	218,14	102,87	115,28	0,00	115,28
Outubro	242,24	117,27	124,97	0,00	124,97
Novembro	303,00	176,23	126,77	0,00	126,77
Dezembro	342,57	195,93	146,65	0,00	146,65
Total (R\$)	3.279,80	1.850,66	1.429,14	0,00	1.429,14

Assim como no cenário anterior, a economia obtida com a instalação deste sistema também é menor do que aquela apresentada na condição base, pelo mesmo motivo já explicado. O gráfico da relação entre a geração de energia do sistema e a

demanda da residência está representado na Figura 5-17 e a economia obtida com a instalação de 133 módulos pode ser observada na Tabela 5-44.

A Tabela 5-45 disponibiliza os resultados calculados pelo programa, onde é possível notar que o tempo de retorno é superior a 30 anos.

Tabela 5-45: Instalação de 133 módulos a US\$10,00/Wp para a 1ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	133
Preço de Instalação (US\$/Wp)	10,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	26,60
Área Útil de Geração (m ²)	173,75
Área Total Utilizada (m ²)	187,53
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	266.000,00
Preço Total Módulos (R\$)	460.180,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	469.534,09
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

- **Utilizando toda a área disponível para instalação dos módulos a US\$7,00/Wp:**

A Tabela 5-46 apresenta os valores encontrados para a consideração do preço de instalação dos módulos ser de US\$7,00/Wp. Observa-se que o tempo de retorno permanece acima dos 30 anos, mesmo com essa possibilidade.

Tabela 5-46: Instalação de 133 módulos a \$7,00/Wp para a 1ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	133
Preço de Instalação (US\$/Wp)	7,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	26,60
Área Útil de Geração (m ²)	173,75
Área Total Utilizada (m ²)	187,53
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	186.200,00
Preço Total Módulos (R\$)	322.126,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	331.480,09
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

Analisando os valores encontrados nesta 1ª hipótese, tem-se que apenas a aplicação de medidas de eficiência energética não é suficiente para viabilizar o investimento em um sistema fotovoltaico sem incentivos governamentais. Assim como na condição base, o indicado é que o sistema instalado atenda apenas a demanda de energia da residência, com a utilização de 9 módulos.

o **2ª hipótese:**

A segunda hipótese, considerando uma tarifa *Feed-in* de R\$0,50, tem seus resultados para os cenários simulados apresentados a seguir.

• **Considerando o preço de instalação dos módulos a US\$10,00/Wp:**

Já que primeiramente optou-se por instalar um sistema pequeno, somente para suprir o consumo de energia no momento da geração, o lucro obtido com a venda do excesso de energia entregue à concessionária pelo mesmo valor pago pela energia que esta fornece é pequeno, menor do que na condição base, como mostra a Tabela 5-47.

Tabela 5-47: Lucro obtido com a instalação de 9 módulos para a 2ª hipótese da condição proposta

Mês	Custo mensal de energia elétrica antes da instalação do sistema (R\$)	Custo mensal de energia elétrica após a instalação do sistema (R\$)	Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica (R\$)	Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)	Lucro total obtido pela instalação do sistema (R\$)
Janeiro	342,57	230,45	112,12	36,68	148,80
Fevereiro	312,95	211,60	101,36	32,66	134,02
Março	324,47	218,69	105,78	38,56	144,34
Abril	302,23	209,33	92,90	21,13	114,03
Mai	249,29	158,13	91,16	30,71	121,87
Junho	216,04	134,51	81,54	18,98	100,52
Julho	214,19	131,70	82,49	42,90	125,39
Agosto	212,09	129,92	82,17	42,01	124,18
Setembro	218,14	126,03	92,11	21,46	113,57
Outubro	242,24	142,65	99,59	29,26	128,85
Novembro	303,00	199,17	103,83	27,06	130,89
Dezembro	342,57	231,13	111,44	30,70	142,13
Total (R\$)	3.279,80	2.123,31	1.156,49	372,11	1.528,60

Tabela 5-48: Instalação de 9 módulos a US\$10,00/Wp para a 2ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,50
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	9
Preço de Instalação (US\$/Wp)	10,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	1,80
Área Útil de Geração (m ²)	11,76
Área Total Utilizada (m ²)	12,69
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	18.000,00
Preço Total Módulos (R\$)	31.140,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	40.494,09
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

Como o lucro obtido com esta possibilidade é menor que na condição base, já é esperado que o tempo de retorno não seja suficiente para tornar o investimento viável. Este fato pode ser confirmado pela Tabela 5-48.

- **Considerando o preço de instalação dos módulos a \$7,00/Wp:**

A Tabela 5-49, representado os valores calculados considerando o preço de instalação dos módulos em US\$7,00/Wp, demonstra que essa possibilidade também não é suficiente para tornar o sistema composto por 9 módulos fotovoltaicos viável economicamente.

Tabela 5-49: Instalação de 9 módulos a US\$7,00/Wp para a 2ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,50
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	9
Preço de Instalação (US\$/Wp)	7,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	1,80
Área Útil de Geração (m ²)	11,76
Área Total Utilizada (m ²)	12,69
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	12.600,00
Preço Total Módulos (R\$)	21.798,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	31.152,09
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

- **Considerando 21 módulos instalados a US\$10,00/Wp:**

Nesta possibilidade, o lucro obtido pela venda da energia fotovoltaica injetada na rede elétrica somado à economia pela redução da conta de luz tem o mesmo valor encontrado na condição base, como a Tabela 5-50 pode confirmar. Portanto, como já foi visto na condição base, o tempo de retorno para o recebimento anual deste valor não será inferior a 30 anos. A Tabela 5-51 apresenta os valores encontrados pelo programa.

Tabela 5-50: Lucro obtido com a instalação de 21 módulos para a 2ª hipótese da condição proposta

Mês	Custo mensal de energia elétrica antes da instalação do sistema (R\$)	Custo mensal de energia elétrica após a instalação do sistema (R\$)	Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica (R\$)	Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)	Lucro total obtido pela instalação do sistema (R\$)
Janeiro	342,57	215,44	127,13	220,06	347,19
Fevereiro	312,95	198,41	114,54	198,17	312,71
Março	324,47	205,04	119,43	217,36	336,78
Abril	302,23	194,67	107,56	158,51	266,07
Mai	249,29	147,77	101,52	182,85	284,37
Junho	216,04	122,84	93,21	141,34	234,54
Julho	214,19	126,48	87,71	204,87	292,57
Agosto	212,09	124,52	87,57	202,19	289,76
Setembro	218,14	115,71	102,43	162,57	265,00
Outubro	242,24	129,41	112,83	187,82	300,66
Novembro	303,00	185,33	117,67	187,75	305,42
Dezembro	342,57	214,70	127,87	203,77	331,64
Total (R\$)	3.279,80	1.980,34	1.299,46	2.267,26	3.566,72

Tabela 5-51: Instalação de 21 módulos a US\$10,00/Wp para a 2ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,50
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	21
Preço de Instalação (US\$/Wp)	10,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	4,20
Área Útil de Geração (m ²)	27,43
Área Total Utilizada (m ²)	29,61
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	42.000,00
Preço Total Módulos (R\$)	72.660,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	82.014,09
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

- **Considerando 21 módulos instalados a US\$7,00/Wp:**

Com preço dos módulos a US\$7,00/Wp, os resultados calculados pelo programa também mostram que o tempo de retorno deste investimento seria superior à vida útil dos módulos, como está representado na Tabela 5-52.

Tabela 5-52: Instalação de 21 módulos a US\$7,00/Wp para a 2ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,50
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	21
Preço de Instalação (US\$/Wp)	7,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	4,20
Área Útil de Geração (m ²)	27,43
Área Total Utilizada (m ²)	29,61
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	29.400,00
Preço Total Módulos (R\$)	50.862,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	60.216,09
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

- **Utilizando toda a área disponível para instalação dos módulos:**

Tabela 5-53: Lucro obtido com a instalação de 133 módulos para a 2ª hipótese da condição proposta

Mês	Custo mensal de energia elétrica antes da instalação do sistema (R\$)	Custo mensal de energia elétrica após a instalação do sistema (R\$)	Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica (R\$)	Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)	Lucro total obtido pela instalação do sistema (R\$)
Janeiro	342,57	200,58	141,99	2.056,91	2.198,90
Fevereiro	312,95	188,41	124,54	1.855,96	1.980,50
Março	324,47	187,67	136,79	1.996,18	2.132,97
Abril	302,23	175,29	126,94	1.558,17	1.685,11
Maio	249,29	145,03	104,26	1.696,74	1.801,00
Junho	216,04	120,81	95,24	1.390,21	1.485,45
Julho	214,19	126,48	87,71	1.765,26	1.852,97
Agosto	212,09	114,07	98,02	1.737,11	1.835,13
Setembro	218,14	102,87	115,28	1.563,08	1.678,35
Outubro	242,24	117,27	124,97	1.779,19	1.904,16
Novembro	303,00	176,23	126,77	1.807,54	1.934,31
Dezembro	342,57	195,93	146,65	1.953,75	2.100,39
Total (R\$)	3.279,80	1.850,66	1.429,14	21.160,10	22.589,24

O lucro obtido com a instalação de 133 módulos com tarifa *Feed-in* de R\$0,50/kWh se encontra na Tabela 5-53, onde o valor obtido também é igual ao lucro da condição base para o mesmo cenário. A Tabela 5-54 mostra os resultados obtidos para este cenário, com tempo de retorno superior à vida útil dos módulos.

Tabela 5-54: Instalação de 133 módulos a US\$10,00/Wp para a 2ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,50
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	133
Preço de Instalação (US\$/Wp)	10,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	26,60
Área Útil de Geração (m ²)	173,75
Área Total Utilizada (m ²)	187,53
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	266.000,00
Preço Total Módulos (R\$)	460.180,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	469.534,09
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

- **Utilizando toda a área disponível com preço de instalação dos módulos a \$7,00/Wp:**

Sendo o preço de instalação dos módulos a única alteração em relação a possibilidade anterior, pode-se afirmar que os resultados encontrados também serão iguais aos já apresentados no condição base, ou seja, com tempo de retorno do investimento superior à vida útil esperada para os módulos fotovoltaicos, o que pode ser confirmado pela observação da Tabela 5-55.

Tabela 5-55: Instalação de 133 módulos a \$7,00/Wp para a 2ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	0,50
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	133
Preço de Instalação (US\$/Wp)	7,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	26,60
Área Útil de Geração (m ²)	173,75
Área Total Utilizada (m ²)	187,53
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	186.200,00
Preço Total Módulos (R\$)	322.126,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	331.480,09
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

A implementação de medidas de eficiência energética também não conseguiu tornar a instalação do sistema fotovoltaico economicamente viável para nenhuma das possibilidades consideradas para a aplicação de tarifa *Feed-in* equitativa. O tempo de retorno do investimento continua maior do que 30 anos. O ideal é que o sistema permaneça sendo composto somente pelo mínimo de módulos que atendam à demanda de energia da residência, ou seja, 9 módulos.

○ **3ª hipótese:**

A última hipótese deste estudo foi calculada para um incentivo à geração fotovoltaica através de tarifa *Feed-in* de R\$2,00, e seus resultados encontram-se a seguir.

• **Considerando o preço de instalação dos módulos a US\$10,00/Wp:**

Com um número de módulos instalados bem menor que na condição base, o lucro obtido com a instalação deste sistema continua sendo baixo, mesmo com a venda de cada kWh injetado na rede por R\$2,00, como pode ser observado pela Tabela 5-56.

Tabela 5-56: Lucro obtido com a instalação de 9 módulos para a 3ª hipótese da condição proposta

Mês	Custo mensal de energia elétrica antes da instalação do sistema (R\$)	Custo mensal de energia elétrica após a instalação do sistema (R\$)	Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica (R\$)	Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)	Lucro total obtido pela instalação do sistema (R\$)
Janeiro	342,57	230,45	112,12	146,71	258,83
Fevereiro	312,95	211,60	101,36	130,64	232,00
Março	324,47	218,69	105,78	154,23	260,01
Abril	302,23	209,33	92,90	84,50	177,41
Mai	249,29	158,13	91,16	122,84	214,00
Junho	216,04	134,51	81,54	75,93	157,47
Julho	214,19	131,70	82,49	171,61	254,10
Agosto	212,09	129,92	82,17	168,05	250,22
Setembro	218,14	126,03	92,11	85,83	177,95
Outubro	242,24	142,65	99,59	117,06	216,65
Novembro	303,00	199,17	103,83	108,25	212,08
Dezembro	342,57	231,13	111,44	122,78	234,22
Total (R\$)	3.279,80	2.123,31	1.156,49	1.488,43	2.644,92

A Tabela 5-57 apresenta os cálculos realizados pelo programa para esta possibilidade, com tempo de retorno do investimento superior a 30 anos da data de instalação do sistema fotovoltaico.

Tabela 5-57: Instalação de 9 módulos a US\$10,00/Wp para a 3ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	2,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	9
Preço de Instalação (US\$/Wp)	10,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	1,80
Área Útil de Geração (m ²)	11,76
Área Total Utilizada (m ²)	12,69
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	18.000,00
Preço Total Módulos (R\$)	31.140,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	40.494,09
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

- **Considerando o preço de instalação dos módulos a US\$7,00/Wp:**

Mesmo com a redução do preço de instalação dos módulos a US\$7,00/Wp, o investimento neste sistema não terá tempo de retorno inferior a 30 anos. A Tabela 5-58 confirma os resultados obtidos.

Tabela 5-58: Instalação de 21 módulos a US\$7,00/Wp para a 3ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	2,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	9
Preço de Instalação (US\$/Wp)	7,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	1,80
Área Útil de Geração (m ²)	11,76
Área Total Utilizada (m ²)	12,69
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	12.600,00
Preço Total Módulos (R\$)	21.798,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	31.152,09
Tempo de Retorno (anos)	> 30 anos

- **Considerando 21 módulos instalados a US\$10,00/Wp:**

Tabela 5-59: Lucro obtido com a instalação de 21 módulos para a 3ª hipótese da condição proposta

Mês	Custo mensal de energia elétrica antes da instalação do sistema (R\$)	Custo mensal de energia elétrica após a instalação do sistema (R\$)	Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica (R\$)	Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)	Lucro total obtido pela instalação do sistema (R\$)
Janeiro	342,57	215,44	127,13	880,24	1.007,37
Fevereiro	312,95	198,41	114,54	792,68	907,22
Março	324,47	205,04	119,43	869,42	988,85
Abril	302,23	194,67	107,56	634,04	741,60
Mai	249,29	147,77	101,52	731,40	832,92
Junho	216,04	122,84	93,21	565,35	658,56
Julho	214,19	126,48	87,71	819,47	907,18
Agosto	212,09	124,52	87,57	808,77	896,33
Setembro	218,14	115,71	102,43	650,28	752,72
Outubro	242,24	129,41	112,83	751,29	864,13
Novembro	303,00	185,33	117,67	751,01	868,67
Dezembro	342,57	214,70	127,87	815,09	942,96
Total (R\$)	3.279,80	1.980,34	1.299,46	9.069,04	10.368,50

Com esta 3ª hipótese de incentivo à geração fotovoltaica, o lucro obtido com a instalação de 21 módulos é agora maior do que o apresentado na condição base. A Tabela 5-59 mostra os valores obtidos.

O tempo de retorno, que para a condição base era superior a 30 anos, agora é bem menor, tornando o investimento viável economicamente, como mostra a Tabela 5-60.

Tabela 5-60: Instalação de 21módulos a US\$10,00/Wp para a 3ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	2,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	21
Preço de Instalação (US\$/Wp)	10,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	4,20
Área Útil de Geração (m ²)	27,43
Área Total Utilizada (m ²)	29,61
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	42.000,00
Preço Total Módulos (R\$)	72.660,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	82.014,09
Tempo de Retorno (anos)	16,42

- **Considerando 21 módulos instalados a US\$7,00/Wp:**

Considerando a fabricação dos módulos em território nacional, o tempo de retorno, como já é esperado, diminui mais ainda, sendo que a diferença em relação à condição base agora é menor do que no cenário anterior. A Tabela 5-61 mostra os resultados calculados.

Tabela 5-61: Instalação de 21módulos a US\$7,00/Wp para a 3ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	2,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	21
Preço de Instalação (US\$/Wp)	7,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	4,20
Área Útil de Geração (m ²)	27,43
Área Total Utilizada (m ²)	29,61
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	29.400,00
Preço Total Módulos (R\$)	50.862,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	60.216,09
Tempo de Retorno (anos)	9,12

- **Utilizando toda a área disponível para instalação dos módulos:**

Tabela 5-62: Lucro obtido com a instalação de 133 módulos para a 3ª hipótese da condição proposta

Mês	Custo mensal de energia elétrica antes da instalação do sistema (R\$)	Custo mensal de energia elétrica após a instalação do sistema (R\$)	Economia obtida pela redução do custo de energia elétrica (R\$)	Valor recebido pela energia injetada na rede (R\$)	Lucro total obtido pela instalação do sistema (R\$)
Janeiro	342,57	200,58	141,99	8.227,63	8.369,62
Fevereiro	312,95	188,41	124,54	7.423,82	7.548,36
Março	324,47	187,67	136,79	7.984,71	8.121,50
Abril	302,23	175,29	126,94	6.232,68	6.359,62
Mai	249,79	145,03	104,76	6.784,97	6.889,73
Junho	216,54	120,81	95,74	5.558,85	5.654,58
Julho	214,19	126,48	87,71	7.061,05	7.148,76
Agosto	212,09	114,07	98,02	6.948,45	7.046,47
Setembro	218,64	102,87	115,78	6.250,30	6.366,08
Outubro	242,74	117,27	125,47	7.114,77	7.240,24
Novembro	303,00	176,23	126,77	7.230,17	7.356,93
Dezembro	342,57	195,93	146,65	7.814,99	7.961,64
Total (R\$)	3.281,80	1.850,66	1.431,14	84.632,40	86.063,54

Os resultados calculados para esta possibilidade mostram que, com a instalação do número máximo de módulos na residência, o lucro obtido é maior do que o alcançado na condição base, como pode ser observado na Tabela 5-62. O tempo de

retorno para este investimento também é menor, como mostra a Tabela 5-63. Porém, a diferença é muito pequena e não pode realmente ser considerada como uma vantagem em relação à condição base.

Tabela 5-63: Instalação de 133 módulos a US\$10,00/Wp para a 3ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	2,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	133
Preço de Instalação (US\$/Wp)	10,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	26,60
Área Útil de Geração (m ²)	173,75
Área Total Utilizada (m ²)	187,53
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	266.000,00
Preço Total Módulos (R\$)	460.180,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	469.534,09
Tempo de Retorno (anos)	8,27

- **Utilizando toda a área disponível com preço de instalação dos módulos a US\$7,00/Wp:**

A diferença em relação à condição base também é pequena que quando é considerado um preço de instalação dos módulos a US\$7,00/Wp, como está representado na Tabela 5-64.

Tabela 5-64: Instalação de 133 módulos a US\$7,00/Wp para a 3ª hipótese da condição proposta

Tarifa da Rede (R\$/kWh)	0,50
Tarifa Feed-In (R\$/kWh)	2,00
Taxa de Desconto Anual (%)	10
Área Disponível (m ²)	188,81
Eficiência do Módulo (%)	16,00
Área Módulo c/ Moldura (m ²)	1,41
Área Módulo s/ Moldura (m ²)	1,31
Potência do Módulo (Wp)	200
Eficiência do Inversor (%)	90,00
Número de Módulos	133
Preço de Instalação (US\$/Wp)	7,00
Taxa de Câmbio	1,73
Potência Instalada (kWp)	26,60
Área Útil de Geração (m ²)	173,75
Área Total Utilizada (m ²)	187,53
Número Máximo de Módulos	133,00
Preço Total Módulos (US\$)	186.200,00
Preço Total Módulos (R\$)	322.126,00
Preço Novos Equipamentos (R\$)	9.354,09
Investimento Inicial Total (R\$)	331.480,09
Tempo de Retorno (anos)	5,10

Considerando um incentivo à geração de energia fotovoltaica com uma tarifa *Feed-in* de R\$2,00, a viabilidade do investimento não é alcançada para a instalação de 9 módulos. Por se tratar de uma quantidade muito pequena, a energia gerada por estes módulos não é capaz de injetar na rede energia suficiente para que sua venda seja lucrativa, sendo recomendado que o sistema seja dimensionado para produzir energia além do mínimo que atenda a demanda de consumo da residência. A Tabela 5-65 resume os resultados obtidos com os cenários considerados para a condição proposta.

Tabela 5-65: Resumo dos resultados obtidos para a condição proposta

Possíveis cenários para a instalação do sistema fotovoltaico na condição proposta	Tempo de Retorno do Investimento		
	1ª Hipótese	2ª Hipótese	3ª Hipótese
9 módulos a US\$10,00	> 30 anos	> 30 anos	> 30 anos
9 módulos a US\$7,00	> 30 anos	> 30 anos	> 30 anos
21 módulos a US\$10,00	> 30 anos	> 30 anos	16,42
21 módulos a US\$7,00	> 30 anos	> 30 anos	9,12
133 módulos a US\$10,00	> 30 anos	> 30 anos	8,27
133 módulos a US\$7,00	> 30 anos	> 30 anos	5,10

Para melhor visualização dos resultados obtidos para as duas condições estudadas, os valores para o tempo de retorno do investimento considerando as diferentes hipóteses e cenários estão reunidos na Tabela 5-66.

Tabela 5-66: Resultados obtidos no estudo de caso para tempo de retorno do investimento

Cenário considerado	Tempo de Retorno do Investimento					
	Condição Base			Condição Proposta		
	1ª Hipótese	2ª Hipótese	3ª Hipótese	1ª Hipótese	2ª Hipótese	3ª Hipótese
9 módulos a US\$10,00	-	-	-	> 30 anos	> 30 anos	> 30 anos
9 módulos a US\$7,00	-	-	-	> 30 anos	> 30 anos	> 30 anos
21 módulos a US\$10,00	> 30 anos	> 30 anos	> 30 anos	> 30 anos	> 30 anos	16,42
21 módulos a US\$7,00	> 30 anos	> 30 anos	13,07	> 30 anos	> 30 anos	9,12
133 módulos a US\$10,00	> 30 anos	> 30 anos	8,67	> 30 anos	> 30 anos	8,27
133 módulos a US\$7,00	> 30 anos	> 30 anos	5,25	> 30 anos	> 30 anos	5,10

5.3. Análise dos Resultados Obtidos

A implementação de medidas de eficiência energética pode ser de grande influência no dimensionamento de um sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica. A redução no consumo de energia pode promover uma economia considerável no custo de instalação do sistema, quando este está dimensionado para suprir a demanda da residência no momento da geração fotovoltaica. A Tabela 5-67 reúne estes resultados para as condições base e proposta e demonstra a economia feita no preço de instalação depois de aplicadas medidas de eficiência energética.

Tabela 5-67: Impacto das medidas de eficiência energética no dimensionamento do sistema

Condição	Número de módulos instalados	Preço de Instalação	
		US\$7,00/Wp	US\$10,00/Wp
Base	21	50.862,00	72.660,00
Proposta	9	21.798,00	31.140,00
Diferença	12	29.064,00	41.520,00

Lembrando que o investimento total feito com a aquisição de equipamentos eficientes para reduzir o consumo de energia da residência na condição proposta foi de R\$9.354,09, a economia no custo do sistema chega a ser mais de quatro vezes o valor deste investimento, para um preço de instalação a US\$10,00/Wp. Se for considerada fabricação nacional dos módulos, este valor será o triplo do investimento feito. Este resultado está indicado em (KYOCERA, 2008), onde afirma-se que: “para cada dólar investido na substituição de aparelhos ineficientes, serão poupados três dólares no custo de um sistema de energia renovável para supri-los. A conservação de energia é crucial e pode realmente ser rentável quando considera-se um sistema de energia renovável.” O valor indicado por (KYOCERA, 2008) é justamente o valor encontrado quando considera-se a produção dos módulos em território nacional, ou seja, se o preço fosse o mesmo existente nos Estados Unidos, onde os módulos Kyocera são fabricados.

Para investidores que desejem instalar um sistema fotovoltaico em suas residências mesmo sem a existência de incentivos governamentais, pensando na contribuição que fará ao meio ambiente, por exemplo, esta economia obtida pela redução de consumo é motivo suficiente para que medidas de eficiência energética sejam realizadas antes da aquisição do sistema. Neste caso, é melhor que o sistema seja composto apenas pelo número mínimo de módulos que suprirão o consumo de energia, pois se o sistema gerar muito mais energia do que a residência pode consumir, esta sobra de energia estará sendo entregue a rede elétrica de graça.

Já para o caso de existirem incentivos à geração fotovoltaica, quando o sistema é dimensionado para apenas suprir a demanda de energia, as medidas de eficiência reduzem tanto o consumo da residência, que o número de módulos necessário para atender este consumo não é suficiente para gerar lucros atrativos ao investidor.

O ideal para a situação de existência de incentivos, é que o sistema seja dimensionado pensando justamente no lucro que o tornará viável em um intervalo de tempo estipulado como razoável pelo investidor, e não somente para atender à demanda da residência. As medidas de eficiência realizadas serão favoráveis também quanto ao tempo de retorno do investimento, que será consideravelmente menor do que se as medidas não forem feitas. Contudo, este investimento deve ser de valor superior à tarifa da concessionária, pois como foi visto, um incentivo de valor igual à tarifa da rede não é suficiente para viabilizar o investimento mesmo em um sistema com geração de energia muito superior à demanda da residência onde está instalado. A Tabela 5-68 demonstra

alguns exemplos de tempo de retorno que podem ser obtidos, considerando um investimento com tarifa *Feed-in* de R\$2,00.

Tabela 5-68: Exemplos de tempos de retorno calculados

Condição	Base	Proposta
Tempo de retorno do investimento para 25 módulos instalados (anos)	24,44	13,98
Tempo de retorno do investimento para 40 módulos instalados (anos)	13,27	10,72
Tempo de retorno do investimento para 70 módulos instalados (anos)	10,05	9,10

Nota-se que quanto maior o número de módulos instalados, menor a diferença entre as condições. Este fato já havia sido observado quando foi analisado o cenário de ocupação de toda área disponível para instalação do sistema. Com a utilização do número máximo de módulos, a diferença entre o tempo de retorno nas condições base e proposta não chega a ser significativa. Isso acontece porque nas duas condições, a produção de energia com 133 módulos é muito superior à demanda da residência, portanto as medidas de eficiência energética provocam pouca alteração no lucro total.

Capítulo 6. Conclusões e Recomendações

As medidas de eficiência energética se mostraram fundamentais no dimensionamento de um sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica. Com a existência ou não de incentivos à geração, a redução no consumo de energia da residência que vai receber o sistema fotovoltaico provoca grande economia de custos. Apesar de não existirem tais incentivos no Brasil, a prática de medidas de redução do desperdício de energia é essencial para evitar a instalação de sistemas superdimensionados. A comparação entre as condições estudadas demonstra também, que a redução do desperdício de energia deve ser praticada mesmo quando a instalação de um sistema fotovoltaico não está em questão, pois a economia obtida cobre todos os custos de substituição de equipamentos ineficientes em pouco tempo.

Quanto ao tempo de retorno do investimento, a experiência bem sucedida de vários países mostra que o desenvolvimento do mercado fotovoltaico só acontecerá quando os investidores tiverem garantias de acesso à rede e trabalharem com contratos de longo prazo e tarifas especiais.

Atualmente, para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, tanto os sistemas centralizados quanto os sistemas distribuídos precisam de incentivos. No caso dos sistemas centralizados, porque a energia elétrica gerada por eles é mais cara do que a obtida de outras fontes, e para os sistemas residenciais, porque os custos dos sistemas fotovoltaicos são muito elevados e o tempo de retorno é superior ao tempo estimado de vida dos módulos.

O mercado de sistemas fotovoltaicos distribuídos conectados à rede poderá se tornar viável no médio prazo através do aprimoramento das tecnologias existentes, com fabricação dos módulos em território nacional, e com a implementação de incentivos governamentais à geração fotovoltaica.

Como recomendação para estudos futuros, sugere-se o cálculo de parâmetros ótimos para instalação de sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica pública. Esses parâmetros, tais como tarifa *Feed-in* mínima e preço máximo de compra dos módulos suficientes para remunerar o investimento, devem ser calculados considerando diferentes premissas de capacidade de investimento inicial, tempo esperado de retorno do investimento, área disponível para instalação e consumo de energia.

Bibliografia

- ANEEL, 2008, *Resultado provisório da segunda revisão tarifária periódica referente à Light Serviços de Eletricidade S/A – LIGHT*. Resolução Homologatória N° 734, Agência Nacional de Energia Elétrica, 4 de Novembro de 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/reh2008734.pdf>
- CEPEL, 2004, *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Edição Especial PRC-PRODEEM ed. Rio de Janeiro: CRESESB.
- FURLANETTO, C. e POSSAMAI, O., "O Uso da Energia Elétrica no Ambiente Residencial". *XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP*, Salvador, 2001.
- IEA, 2007, *National Survey Report of PV Power Applications in the United States of America*. International Energy Agency, August 30, 2007.
- INPE, 2006, *Atlas Brasileiro de Energia Solar*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos.
- KYOCERA, 2008, *Kyocera Solar Electric Products Catalog*. Junho, 2008.
- MARTINS, F. R., PEREIRA, E. B., SILVA, S. A. B. et al., 2008, "Solar Energy Scenarios in Brazil, Part One: Resource Assessment", *Energy Policy*, n. 36, (Abril, 2008), p. 2843, pp. 12.
- RODRÍGUEZ, C. R. C., 2002, *Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede*. Dissertação de Mestrado, Planejamento de Sistemas Energéticos/UNICAMP, Campinas.
- RÜTHER, R., 2004, *Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil*. 1 ed. Florianópolis: Editora UFSC / LABSOLAR.
- SALAMONI, I., RÜTHER, R., KNOB, P. et al., 2004, "O Potencial dos Sistemas Fotovoltaicos Integrados à Edificação e Interligados à Rede Elétrica em Centros Urbanos do Brasil: Dois Estudos de Caso". *I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável*, São Paulo, 18-21 julho 2004.
- SILVA, A. J. G., 2006, *Investimento de Empresas de Petróleo em Energia Fotovoltaica: O Caso da BP Solar e Motivações da Petrobras*. Dissertação de Mestrado, Planejamento Energético/UFRJ, Rio de Janeiro.
- UFRGS, 2008, *RADIASOL*. Software, Disponível em: <http://www.solar.ufrgs.br/#radiasol>