

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**INSTALAÇÃO DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA
COM FONTE FOTOVOLTAICA NAS ESTAÇÕES DE
TELECOMUNICAÇÕES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Mauro Fonseca Rodrigues

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

INSTALAÇÃO DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM FONTE FOTOVOLTAICA NAS ESTAÇÕES DE TELECOMUNICAÇÕES

Mauro Fonseca Rodrigues

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Sistemas de Energia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Elétrica

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Alzenira da Rosa Abaide

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rodrigues, Mauro Fonseca
Instalação de microgeração distribuída com fonte
fotovoltaica nas estações de telecomunicações / Mauro
Fonseca Rodrigues.-2013.
125 f.; 30cm

Orientadora: Alzenira da Rosa Abaide
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica, RS, 2013

1. Microgeração de energia elétrica 2. Telecomunicações
3. Geração de energia com fonte fotovoltaica I. Abaide,
Alzenira da Rosa II. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Mauro Fonseca Rodrigues. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
E-mail: mauro.rodrigues@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica**

A comissão examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**INSTALAÇÃO DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM FONTE
FOTOVOLTAICA NAS ESTAÇÕES DE TELECOMUNICAÇÕES**

elaborada por
Mauro Fonseca Rodrigues

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Elétrica

COMISSÃO EXAMINADORA:

Alzenira da Rosa Abaide, Dr^a.
(Presidente/Orientadora)

Gladis Bordin, Dr^a. (UFRGS)

Luciane Neves Canha, Dr^a. (UFSM)

Santa Maria, 24 de julho de 2013.

DEDICATÓRIA

Para Jesus e Remi, meus falecidos pais, que forjaram no meu espírito a importância da educação e para minha família, Lisandra, Isadora e Murilo, que me incentivaram em todos os momentos.

AGRADECIMENTO

Agradeço a minha orientadora por toda dedicação e apoio que deu ao meu trabalho durante os 2 anos que convivemos no Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica da UFSM.

Agradeço aos colegas de trabalho, que entenderam minhas dificuldades devido ao esforço extra para cumprir minha jornada dupla e que, de alguma forma, auxiliaram à conclusão deste objetivo.

Agradeço também aos meus alunos da UNIJUÍ pelo incentivo e apoio para conclusão desta dissertação.

Agradeço, por fim, a minha família que, além de ser minha maior motivação, é meu maior ponto de apoio e sustentação.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Maria

INSTALAÇÃO DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM FONTE FOTVOLTAICA NAS ESTAÇÕES DE TELECOMUNICAÇÕES

AUTOR: MAURO FONSECA RODRIGUES

ORIENTADORA: ALZENIRA DA ROSA ABAIDE

DATA E LOCAL DA DEFESA: SANTA MARIA, 24 DE JULHO DE 2013.

Esta dissertação apresenta o estudo de viabilidade para inserção de microgeração de energia elétrica com fonte fotovoltaica nas estações de telecomunicações. A partir da Resolução 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de abril de 2012, a microgeração (até 100 kW de potência instalada) passou a ter sua capacidade considerada no cômputo de energia do sistema elétrico brasileiro. Como o sistema brasileiro de telecomunicações está presente em todas as localidades com mais de 100 habitantes há a possibilidade de criar uma rede de microgeração distribuída, utilizando as similaridades entre esses dois sistemas: telecomunicações e geração de energia com fonte fotovoltaica. Para isso, verificou-se a necessidade de analisar a capacidade de geração em contrapartida com o consumo de energia elétrica das estações de telecomunicações. Após, realizou-se a aplicação de conceitos da Engenharia Econômica e o Método Simplex da Programação Linear para avaliar o sistema proposto quanto à viabilidade financeira, considerando a economia de energia e alguns cenários de venda desta energia produzida para o sistema de distribuição de energia elétrica da concessionária local. A partir destas análises efetuadas foi possível verificar que o sistema mostrou-se atrativo, tanto pela avaliação da Engenharia Econômica, quanto pelo Método Simplex, comprovando que sua aplicação pode trazer benefícios às empresas de telecomunicações e à rede de distribuição de Baixa Tensão que terá menos carga para atender. No entanto, a venda de energia a partir desta microgeração pode diminuir a confiabilidade do sistema de telecomunicações e, portanto, não é recomendada.

Palavras-chave: Microgeração de energia elétrica. Telecomunicações. Geração de energia com fonte fotovoltaica.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Maria

INSTALAÇÃO DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM FONTE FOTVOLTAICA NAS ESTAÇÕES DE TELECOMUNICAÇÕES

AUTOR: MAURO FONSECA RODRIGUES

ORIENTADORA: ALZENIRA DA ROSA ABAIDE

DATA E LOCAL DA DEFESA: SANTA MARIA, 24 DE JULHO DE 2013.

This dissertation presents the feasibility study for integration of microgeneration of electricity with photovoltaic power in telecommunications stations. From the Resolution 482/2012 of ANEEL, April 2012, microgeneration (installed capacity equal to or less than 100 kW) began to have the capacity considered in the reckoning power of the Brazilian electric system. As the Brazilian telecommunications system is present in all locations with more than 100 residents there is the possibility of creating a network of distributed micro generation, using the similarities between these two systems, telecommunications and power generation using photovoltaic source. For this, there is a need to analyze the generation capacity in contrast to the electricity consumption of the telecommunications stations. After, was carried out the application of concepts of Economic Engineering and Simplex Method of Linear Programming to evaluate the proposed system on the financial feasibility, considering the energy saving and some scenarios sale of energy used for the distribution system of electric power of the local concessionaire. From these analyzes was made possible to verify that the system proved to be attractive both for its assessment of Engineering Economy, as the Simplex Method, proving that its application can bring benefits to telecommunications companies and distribution network that will have less load to cater. However, the sale of energy from microgeneration this may decrease the reliability of the telecommunications system and therefore is not recommended.

Keywords: Microgeneration of electricity. Telecommunications. Power generation with photovoltaic source.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Estrutura de medição bidirecional de energia.....	32
Figura 1.2 – Produção mundial anual de módulos fotovoltaicos.....	34
Figura 1.3 – Crescimento da geração com fontes renováveis na Alemanha.....	36
Figura 1.4 – Sistemas de telecomunicações com módulo solar.....	39
Figura 1.5 – Estrutura atual da alimentação das estações de telecomunicações....	40
Figura 1.6 – Estrutura atual e futura da alimentação das estações de telecomunicações.....	40
Figura 2.1 – Estrutura futura da alimentação de uma estação de telecomunicações.....	46
Figura 2.2 – Medida da irradiação solar para uma determinada latitude.....	49
Figura 2.3 – Perda de rendimento dos painéis solares com a temperatura.....	51
Figura 2.4 – Dados da irradiação solar no Estado do Rio Grande do Sul.....	54
Figura 2.5 – Dados da irradiação solar mundial.....	55
Figura 2.6 – Dados da irradiação solar na Alemanha.....	57
Figura 3.1 – Estrutura de alimentação das estações.....	60
Figura 3.2 – Estrutura predial de uma estação típica.....	63
Figura 3.3 – Topologia típica em anel de transmissão via fibra ótica.....	65
Figura 3.4 – Topologia típica de transmissão ponto a ponto via enlace de rádio.....	65
Figura 3.5 – Hierarquia da rede de comutação telefônica de voz.....	66
Figura 3.6 – Esquema da alimentação dos equipamentos de telecomunicações....	67
Figura 3.7 – Diagrama em blocos para ativação de uma estação de telecomunicações.....	70
Figura 4.1 – Modelo de prédio padronizado onde será baseado o estudo.....	74
Figura 4.2 – Área geográfica a ser analisada.....	76
Figura 4.3 – Estrutura de fixação do painel a ser utilizado.....	77
Figura 4.4 – Vista lateral do telhado do prédio analisado.....	77
Figura 4.5 – Resposta do painel conforme temperatura.....	79
Figura 4.6 – Capacidade de geração de acordo com a irradiação solar.....	80
Figura 4.7 – Esquema de ligação dos painéis para formar 48 V.....	83
Figura 4.8 – Fluxograma para análise de sistema de microgeração com fonte foto-voltaica.....	88
Figura 5.1 – Curva de carga atualizada para uma estação de telecomunicações....	93
Figura 5.2 – Unidade de microgeração simulada no software Homer.....	95
Figura 5.3 – Comparação de uso da rede elétrica e da microgeração local com dados da NASA.....	97
Figura 5.4 – Microgeração isolada de energia elétrica.....	98
Figura 5.5 – Capacidade de geração de uma estação de médio porte.....	99
Figura 5.6 – Pontos de convergência entre a tarifa e o tempo para retorno do investimento.....	104
Figura 5.7 – Economia gerada em 20 anos e retorno financeiro do projeto.....	107
Figura 5.8 – Comportamento dos bancos de baterias entre 19h e 20h para o período de um ano.....	110
Figura 5.9 – Comportamento dos bancos de baterias entre 18h e 21h para o período de um ano.....	110
Figura 5.10 – Falta de energia entre 23 e 3 horas do dia seguinte: limite para baterias de 1.000 Ah.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Características para geração com fonte eólica e fonte solar.....	45
Tabela 2.2 – Fatores importantes para a geração fotovoltaica.	56
Tabela 3.1 – Tipos de serviços fornecidos por uma estação de telecomunicações..	64
Tabela 4.1 – Dados da microcentral projetada.	81
Tabela 4.2 – Valores de dimensionamento da geração fotovoltaica proposta.	84
Tabela 5.1 – Temperatura média da região Noroeste do Rio Grande do Sul no ano de 2012.	96
Tabela 5.3 – Dados do fluxo de caixa esperado em 20 anos para cálculo da TIR.	105
Tabela 5.4 – Retorno do capital investido – <i>payback</i>	107
Tabela 5.5 – Perfil de consumo de energia da estação para um dia	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Níveis de tensão considerados para conexão de micro e minicentraís geradoras de energia elétrica.....	47
Quadro 2.3 – Países com maior capacidade instalada de geração de energia elétrica a partir da fonte solar.....	55
Quadro 4.1 – Consumo de energia de uma estação de telecomunicações de pequeno porte.....	86
Quadro 5.1 – Consumo a partir da microgeração fotovoltaica e rede elétrica.	97
Quadro 5.2 – Dados de nota fiscal de compra de painéis fotovoltaicos importados.	101
Quadro 5.3 – Valor real de painéis fotovoltaicos adquiridos pela empresa.	102
Quadro 5.4 – Valor com e sem impostos para o caso real apresentado.	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINEE	- Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ACV	- Avaliação do Ciclo de Vida
ADSL	- Asymmetric Digital Subscriber Line
ANATEL	- Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
AR	- Ar Condicionado
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BSC	- Base Station Controller
BT	- Baixa Tensão
BTS	- Base Transceiver Station
CA	- Corrente Alternada
CC	- Corrente Contínua
CD	- Comunicação de Dados
CED	- Cumulative Energy Demand
COFINS	- Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CX	- Comutação Telefônica
DDD	- Discagem Direta a Distância
DDD-X	- Teste de Discagem Direta à Distância
EN	- Energia
EPBT	- Energy Payback Time
GLD	- Gerenciamento pelo Lado da Demanda
GMG	- Grupo Motor Gerador
GSM	- Group Special Mobile
HMM	- Horário de Maior Movimento
ICMS	- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IP	- Internet Protocol
IPI	- Imposto sobre Produtos Industrializados
MSC	- Mobile Switching System
N1	- Nível 1 telefônico
N2	- Nível 2 telefônico
N3	- Nível 3 telefônico
NASA	- National Aeronautics and Space Administration
O&M	- Operação e Manutenção
P&D	- Pesquisa e Desenvolvimento
PAE	- Production Annual Energy
PCH	- Pequena Central Hidrelétrica
PIS/PASEP	- Programa de Integração Social
PR	- Performance Ratio
SCM	- Serviço de Comunicação Multimídia
SEP	- Sistema Elétrico de Potência
SMP	- Serviço Móvel Pessoal

STFC	- Sistema Telefônico Fixo Comutado
TIR	- Taxa Interna de Retorno
TMA	- Taxa Mínima de Atratividade
TUP	- Telefone de Uso Público
TX	- Transmissão telefônica
UNICAMP	- Universidade de Campinas
UPS	- Uninterruptible Power Supply (no-break)
UR	- Unidade Retificadora
USCA	- Unidade de Supervisão de Corrente Alternada
USCC	- Unidade de Supervisão de Corrente Contínua
UTP	- Unshielded Twisted Pair
VPL	- Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	27
1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
1.1 Contexto brasileiro para a microgeração de energia elétrica	32
1.1.1 A microgeração de energia com fonte fotovoltaica.....	33
1.2 Aspectos da microgeração fotovoltaica no mundo	34
1.2.1 Estados Unidos	35
1.2.2 Espanha	35
1.2.3 Alemanha	36
1.3 Aspectos para viabilizar a microgeração com fonte fotovoltaica no Brasil.	37
1.4 A microgeração distribuída com fonte fotovoltaica aplicada nas estações de telecomunicações	38
1.5 Considerações sobre a metodologia proposta para análise	41
2 POTENCIAL DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM FONTE FOTOVOLTAICA NA REGIÃO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL	43
2.1 Análise das fontes eólica e fotovoltaica para criação de microgeração distribuída nas estações de telecomunicações	44
2.1.1 Requisitos mínimos para ligação da microgeração	46
2.2 O potencial de geração de energia elétrica com fonte fotovoltaica	47
2.2.1 Informações gerais sobre a irradiação solar.....	48
2.2.2 Informações sobre a temperatura e o rendimento dos painéis fotovoltaicos....	50
2.2.3 Impactos ambientais da geração fotovoltaica.....	51
2.3 Dados para geração fotovoltaica na região Noroeste do Rio Grande do Sul	53
2.3.1 Comparativo da região em estudo com outros locais do mundo	54
2.3.2 Comparação da região escolhida com a Alemanha	56
3 ESTRUTURA BÁSICA DO SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES	59
3.1 Principais equipamentos do sistema de telecomunicações	59
3.1.1 Estrutura de entrada com corrente alternada	60
3.1.2 Estrutura intermediária de retificação	61
3.1.3 Estrutura final da alimentação em corrente contínua	62
3.1.4 Diagrama completo de uma estação de pequeno porte	63

3.2 A Operação e Manutenção (O&M) do sistema de telecomunicações	64
3.2.1 Transmissão (TX)	64
3.2.2 Comutação (CX)	65
3.2.3 Energia (EN)	67
3.2.4 Climatização (AR)	68
3.2.5 Comunicação de Dados (CD)	68
3.2.6 Telefonia Móvel (GSM)	69
3.3 A estrutura geral das estações do sistema brasileiro de telecomunicações.....	70
3.3.1 O sistema de alimentação das estações de telecomunicações.....	70
4 CONDIÇÕES GERAIS PARA A MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA NAS TELECOMUNICAÇÕES.....	73
4.1 Prédios para implantação do sistema.....	74
4.1.1 Localização geográfica dos prédios.....	75
4.1.2 Área útil no telhado dos prédios	76
4.2 Painéis Solares	78
4.2.1 Custo dos painéis	78
4.3 Capacidade de geração no local	80
4.4 Acessórios para o sistema de microgeração.....	81
4.4.1 Inversor CC–CA.....	82
4.5 Custo aproximado do sistema de geração fotovoltaico.....	84
4.6 Gasto com energia para sistemas comerciais de telecomunicações em BT.....	85
4.6.1 O consumo de energia da estação de pequeno porte de telecomunicações...	85
4.7 Modelo proposto para analisar sistema de microgeração com fonte fotovoltaica.....	87
5 VIABILIZAÇÃO DO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA NAS TELECOMUNICAÇÕES.....	91
5.1 A viabilidade financeira da microgeração para a alimentação das estações de telecomunicações	91
5.1.1 A curva de carga das telecomunicações	91
5.1.2 Curva de carga de uma estação de telecomunicações	93
5.2 Análise do sistema de microgeração de energia elétrica com fonte fotovoltaica para as estações de pequeno porte de telecomunicações.....	94

5.2.1 Sistema de microgeração de energia isolado.....	95
5.2.2 Simulação do sistema de microgeração fotovoltaica.....	97
5.2.3 Simulação do sistema de microgeração fotovoltaica distribuído	98
5.2.4 Outros fatores relevantes para a microgeração proposta.....	99
5.3 Demonstração de custo real de painéis fotovoltaicos importados para uma aplicação prática	100
5.3.1 O custo dos impostos nos painéis utilizados	101
5.3.2 A redução da carga dos impostos	102
5.4 Análise do processo de viabilização da microgeração de energia elétrica com fonte fotovoltaica para as telecomunicações.....	103
5.4.1 Otimização do sistema em função da tarifa de energia consumida e tempo de vida útil	103
5.4.2 Analisando a Taxa Interna de Retorno (TIR).....	105
5.4.3 O retorno do investimento	106
5.5 Cenários da microgeração de energia elétrica com fonte fotovoltaica nas telecomunicações	108
5.5.1 Cenários de consumo das baterias entre 18h e 21 horas	109
5.5.2 Venda de energia no período entre 18 e 21 horas	111
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
6.1 Conclusões	115
6.2 Trabalhos futuros.....	117
6.3 Trabalhos publicados e revisados.....	117
REFERÊNCIAS.....	119

INTRODUÇÃO

O consumo crescente de energia elétrica está criando novas necessidades de aproveitamento energético para abastecer o mercado. Uma das fontes de geração de energia elétrica que é pouco aproveitada no Brasil e pode suprir parte desta demanda em crescimento é a fotovoltaica. Para isso é necessário avaliar a irradiação solar do Brasil e buscar aplicações que visem a instalação consolidada deste tipo de unidade geradora.

Grandes usinas de geração com fonte fotovoltaica tendem a ocupar áreas maiores. Assim, usinas com menor porte e próximas às cargas, caracterizando os pequenos aproveitamentos de energia elétrica (FARRET, 2010), podem ser uma alternativa viável para a geração distribuída entrar definitivamente no contexto energético brasileiro.

A microgeração e a minigeração de energia elétrica foram regulamentadas (ANEEL, 2012a) e, com isso, pequenos empreendimentos de geração de energia elétrica passam a ter seu aporte energético considerado para o sistema a partir da inserção diretamente na rede de distribuição local.

O sistema brasileiro de telecomunicações, por sua vez, está presente em todas as localidades com mais de 100 habitantes e suas instalações prediais podem ser utilizadas para a criação de uma rede de microgeração de energia elétrica (RODRIGUES et al, 2013), aproveitando recursos similares existentes e melhorando o aproveitamento energético dessa área.

Entre os objetivos deste trabalho, se pode destacar:

- Apresentar as similaridades existentes entre o sistema brasileiro de telecomunicações e a geração de energia com fonte fotovoltaica;
- Analisar a inserção dessa fonte renovável para a região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul;
- Dimensionar uma unidade de microgeração voltada para pequenas estações de telecomunicações;
- Mostrar, através do método simplex da programação linear, uma forma de otimizar o sistema projetado quanto à vida útil e à economia gerada durante esse período.

- Verificar a viabilidade financeira do projeto proposto através da aplicação de conceitos da Engenharia Econômica.
- Apresentar a relação entre capacidade de geração de energia elétrica e o custo da tarifa de energia local (R\$/kWh).

Existem vários estudos para aplicação da geração fotovoltaica, com pequena potência instalada, em sistemas residenciais (SANTOS, 2009), mas o custo, geralmente, acaba restringindo a implementação desses projetos. Para os sistemas comerciais, como no caso das telecomunicações, o uso deste tipo de unidade geradora de energia elétrica pode sinalizar, além da preocupação com o meio ambiente, um aporte de recursos a partir do melhor uso da infraestrutura predial existente. Vários fatores envolvidos nesses dois processos são comuns, tais como:

- bancos de baterias,
- controlador de carga e descarga,
- alimentação em corrente contínua e
- períodos de maior consumo coincidentes com maior geração.

A partir da Resolução 482/2012 da ANEEL (2012a) que regulamentou a microgeração e a minigeração de energia elétrica, criando o sistema de compensação, onde foi prevista a troca da energia gerada pela consumida, se pode utilizar a rede de telecomunicações para melhorar o aproveitamento energético local, diminuindo cargas do Sistema Elétrico de Potência (SEP) e implantando a geração distribuída na rede de distribuição em Baixa Tensão (BT).

O estudo, para atender as premissas apresentadas, está organizado em 6 capítulos, além desta seção introdutória, da seguinte forma:

1 – Revisão bibliográfica

2 – Potencial de microgeração de energia elétrica fotovoltaica na região Noroeste do Rio Grande do Sul

3 – Estrutura básica do sistema de telecomunicações

4 – Condições gerais para a microgeração nas telecomunicações

5 – Viabilização do sistema de microgeração distribuída nas telecomunicações

6 – Considerações finais

No Capítulo 1 são citados alguns casos de aplicação da fonte fotovoltaica em pequenas gerações de energia elétrica e é apresentada a estrutura de alimentação

atual e futura do sistema de telecomunicações, considerando a inserção da microgeração. O uso de conceitos da Engenharia Econômica, aliados a métodos heurísticos e o método simplex da programação linear, como metodologia matemática, são expostos neste ponto.

O Capítulo 2 estuda o potencial solar da região Noroeste do Rio Grande do Sul e o compara com outras regiões do mundo, onde a geração fotovoltaica está mais evoluída. Justifica, ao final, a escolha por este tipo de fonte geradora.

Para mostrar as similaridades existentes entre a fonte fotovoltaica e os equipamentos utilizados na prestação do serviço de telecomunicações, o Capítulo 3 apresenta a estrutura completa de funcionamento das estações que fornecem este serviço aos clientes, detalhando cada área técnica interna e suas peculiaridades em tarefas e campo de atuação.

No Capítulo 4 é analisada a área útil para exposição de painéis a partir de um modelo de painel fotovoltaico escolhido de acordo com critérios pré-estabelecidos. Com isso, utilizam-se os dados de irradiação solar para verificar a capacidade de geração do conjunto de células fotovoltaicas instaladas. Além disso, é analisado o perfil de consumo de energia destas unidades consumidoras e o custo para inserção da geração com fonte fotovoltaica nas estações de telecomunicações.

As simulações e análises de viabilidade são concentradas no Capítulo 5. É utilizado o software Homer para as simulações de alguns cenários da microgeração proposta em estações de telecomunicações e verificada a capacidade de retorno financeiro do sistema proposto a partir da economia de energia gerada e considerando a venda da energia acumulada durante o período de geração dos painéis fotovoltaicos, buscando caracterizar os melhores momentos para viabilizar o empreendimento e melhor aproveitar a potência instalada em cada unidade.

O Capítulo 6, finalizando o trabalho, conclui o estudo, apresentando os principais fatores analisados, resultados obtidos e suas consequências.

1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A rede de distribuição de energia elétrica vem sofrendo alterações significativas, com a entrada de equipamentos com operação automatizada, que anteriormente eram manuais. A implantação de uma rede *Smart Grid* requer um nível de automação superior que inclui rede de comunicação com inteligência computacional na base de sua estrutura. Esta rede irá integrar o sistema de distribuição em um único processo, maximizando a capacidade operacional e dando novas alternativas para o gerenciamento, controle e previsão de falhas no sistema.

Um dos itens que deverá ter uma demanda considerável é a geração distribuída de energia elétrica, a partir de pequenas fontes. Na Resolução 482¹, de 17 de abril de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), são definidos conceitos importantes para este trabalho, a seguir transcritos:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa gerada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída compense o consumo de energia elétrica ativa (ANEEL, 2012a, p 1).

Uma breve análise do cenário atual da microgeração de energia elétrica no Brasil e no mundo é apresentada a seguir.

¹ Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

1.1 Contexto brasileiro para a microgeração de energia elétrica

O Brasil possui mais de 68 milhões (ANEEL, 2012b) de consumidores de energia elétrica. Esse número pode ainda ser classificado por grupos, conforme Procedimentos de Distribuição da ANEEL.

Atualmente, o consumidor residencial brasileiro utiliza, em média, 167 kWh/mês (ANEEL, 2012c). Um valor muito inferior à Europa, por exemplo, que em 2008 apresentava um consumo médio em torno de 410 kWh/mês (EPE, 2008), uma relação cerca de 3 vezes superior. Comparando com os Estados Unidos essa diferença é ainda maior, pois o consumo médio, em 2008 naquele país, foi de 960 kWh/mês, mais de 6 vezes o utilizado no Brasil (EPE, 2008).

Essa comparação permite inferir que o consumo de energia no Brasil deve continuar crescendo à medida que o país for se desenvolvendo. Com isso, será necessário um aporte maior de energia elétrica para suprir novas cargas que serão incluídas nas unidades consumidoras.

A microgeração de energia vem para tentar atenuar o crescimento no consumo de energia a partir das grandes usinas geradoras, colocando pequenas unidades próximas às cargas e permitindo ao próprio usuário da eletricidade decidir de qual fonte irá consumir e em qual momento.

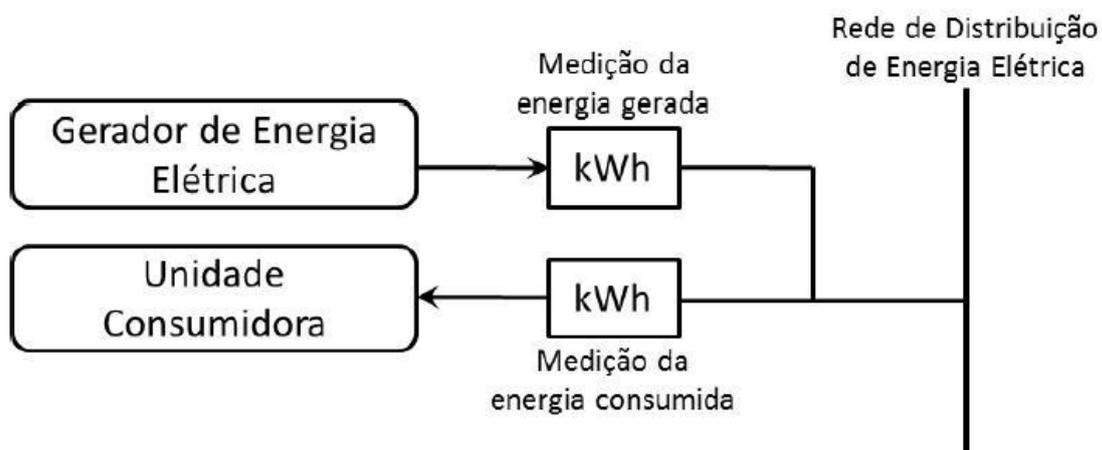


Figura 1.1 – Estrutura de medição bidirecional de energia (ANEEL, 2012d).

Para adequar todos esses consumidores à entrada da microgeração distribuída faz-se necessária a implantação da medição bidirecional para o fluxo de energia, ou seja, no sentido de geração e no de consumo. O custo desta adequação

deve ser totalmente absorvido pelo empreendedor que deseja aplicar a compensação de energia. As últimas atualizações da Resolução 482/2012 da ANEEL incluíram a possibilidade de colocar dois medidores eletromecânicos para medir o fluxo de entrada e o de saída de forma individual, conforme a Figura 1.1. Dessa forma, a empresa faz a leitura e calcula a quantidade de energia a ser cobrada da unidade consumidora.

Além da medição eletrônica, que faz o balanço da energia que entra e que sai da unidade consumidora automaticamente, outra solução possível é através da medição inteligente, ou *Smart Metering*, que traz possibilidades de automação da rede elétrica do usuário. Por exemplo, Caires (2010) em seu trabalho sobre Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD), diz que “a inteligência da rede e de seus componentes pode maximizar o uso da energia disponível no sistema”. Nesse caso, para a microgeração, podem-se carregar os sistemas de armazenamento durante o período fora de ponta para disponibilizar a energia no período de ponta, suavizando a curva de carga da distribuidora. Novos conceitos de automação como eletrodomésticos e casas inteligentes (RODRIGUES et al, 2013)(HU; XIAO GUANG; HE, 2011) também poderão ser considerados, mas não serão abordados nesse estudo.

1.1.1 A microgeração de energia com fonte fotovoltaica

A energia fotovoltaica no Brasil ainda é muito pouco utilizada. Conforme a ANEEL, em seu relatório gerencial trimestral de março de 2013 (ANEEL, 2013), a potência instalada com esta fonte corresponde a 7,586 MW o que significa, aproximadamente, 0,006 % da matriz de geração elétrica do Brasil.

O governo brasileiro tem sinalizado que deseja a inserção da geração fotovoltaica, mas ainda não incentivou positivamente a criação de usinas solares de pequeno, médio ou grande porte conforme o relatório do Grupo de Trabalho do Ministério de Minas e Energia (2008).

A partir da Resolução 482/2012 da ANEEL, a microgeração e a minigeração distribuída podem tornar-se pontos a serem explorados de forma a dominar a tecnologia da área e agregar energia ao sistema de distribuição de energia elétrica a

partir dos próprios consumidores, com possibilidade de suportar novos serviços e criar novos perfis de consumo.

1.2 Aspectos da microgeração fotovoltaica no mundo

O potencial da energia fotovoltaica no Brasil está bem estratificado no Atlas Solar Brasileiro da ANEEL (2006). Este documento está consolidado e será uma ferramenta importante para a realização dos estudos da microgeração distribuída com fonte fotovoltaica na região analisada.

O crescimento exponencial da geração fotovoltaica no mundo na década entre 1998 e 2008 é apresentado na Figura 1.2, baseado na quantidade de módulos fotovoltaicos produzidos na indústria durante esse período. A China vem atuando fortemente nesta tecnologia, tanto na fabricação de módulos quanto na implantação de centrais geradoras (LAMIN, 2009) com vistas a criar e dominar esta técnica de produção de energia. Infelizmente, existem poucos estudos apontando o estágio atual em microgeração neste país.

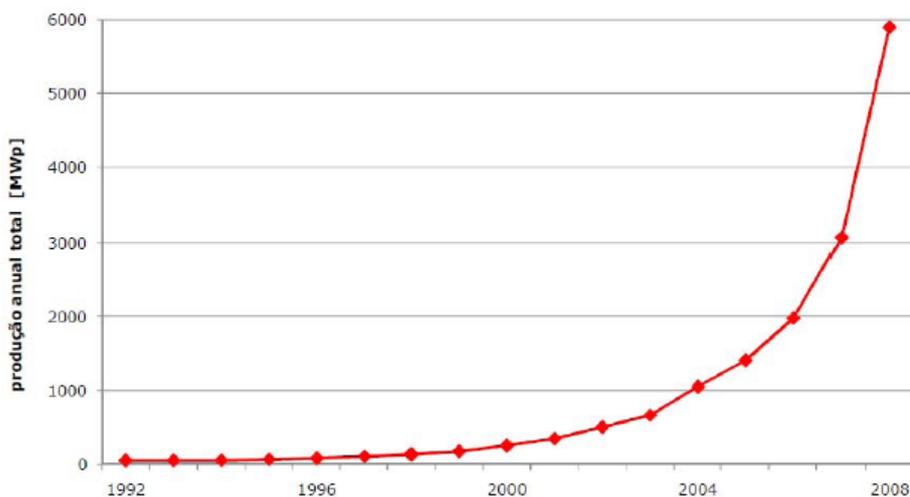


Figura 1.2 – Produção mundial anual de módulos fotovoltaicos (UFSC/IDEAL, 2010).

Será apresentada uma visão do estado atual da geração distribuída nos países com regulamentação mais avançadas. Esses procedimentos para inserção da geração distribuída fornecerão informações que poderão ser úteis para viabilizar os projetos de microgeração distribuída no Brasil.

1.2.1 Estados Unidos

Um país que tradicionalmente incentiva grandes empreendimentos fez recentemente o anúncio de incentivo à produção de energia fotovoltaica em pequena escala.

Foi estabelecido um prêmio de 10 milhões de dólares para as três primeiras equipes que comprovarem, repetidas vezes, que podem criar sistemas de baixa potência com valor inferior a 1 dólar por Watt (ENERGY, 2010) para a geração fotovoltaica doméstica, sem contar o custo dos equipamentos necessários. Com isso, esperam uma diminuição do custo da geração fotovoltaica em 65% para licenciamento, permissão e interligação na rede de distribuição do sistema elétrico. São vários projetos, entre privados e de universidades, envolvidos em pesquisas para desenvolver técnicas de produção de energia a partir desta fonte.

Ainda não foi encontrada uma meta de produção de energia da fonte solar em pequena escala, mas ao atingir o ponto desejado de custo de produção pode-se inferir que haverá um forte impulso na microgeração distribuída com fonte fotovoltaica nos Estados Unidos, além deste país passar a dominar a tecnologia de produção a um custo inferior ao praticado atualmente.

1.2.2 Espanha

A Espanha foi um dos países que primeiro regulamentou a geração fotovoltaica de pequena potência. Inicialmente obteve fraco desenvolvimento, mas a partir de 2004 criou incentivos reais, via decreto, que gerariam uma rentabilidade superior a 12% ao ano para sistemas até 100 kW. Assim, em 2007 eram 634 MW instalados para uma projeção inicial que indicava 410 MW no ano de 2010 (LAMIN, 2009).

Com isso, houve a necessidade de reorganizar o sistema porque inicialmente a geração fotovoltaica estava vinculada com a tarifa. Em 2007, ainda, foi editado um novo decreto que fixou o valor para venda do kWh e um depósito inicial pelo empreendedor de energia de 500 euros por kW produzido. Assim, houve um freio nos pedidos de conexão e um melhor aproveitamento do conhecimento gerado entre

2004 e 2007 para parques maiores, diminuindo gradativamente o percentual de participação das pequenas usinas no contexto geral da fonte fotovoltaica.

1.2.3 Alemanha

O maior produtor de energia fotovoltaica no mundo. Com um sistema de geração bastante desenvolvido e forte incentivo às fontes renováveis de energia a Alemanha viu crescer o percentual energético destas fontes em sua matriz energética, como ilustra a Figura 1.3.

Para manter o equilíbrio do sistema instituiu vários prêmios, ou bônus à tarifa, que incentivaram a implantação de geração fotovoltaica nas fachadas e telhados dos prédios (LAMIN, 2009). Com a crescente ampliação de geração e a baixa dos valores de instalação deste sistema, modificou a estrutura de remuneração em 2008 com uma tabela que rentabiliza menos o empreendimento a cada ano que passa. Assim, em 2008, um investidor que gerasse até 30 kW ganharia 46,75 Euros por kW por 20 anos. Se entrasse em operação em 2009, ganharia 43,01 Euros por kW pelos próximos 20 anos de geração de energia. Assim, a nova tabela foi reduzindo o valor pago pelo kW gerado a cada ano, de forma a equilibrar o valor pago pela microgeração com a geração convencional. Ou seja, o incentivo à microgeração fotovoltaica está sendo retirado gradativamente.

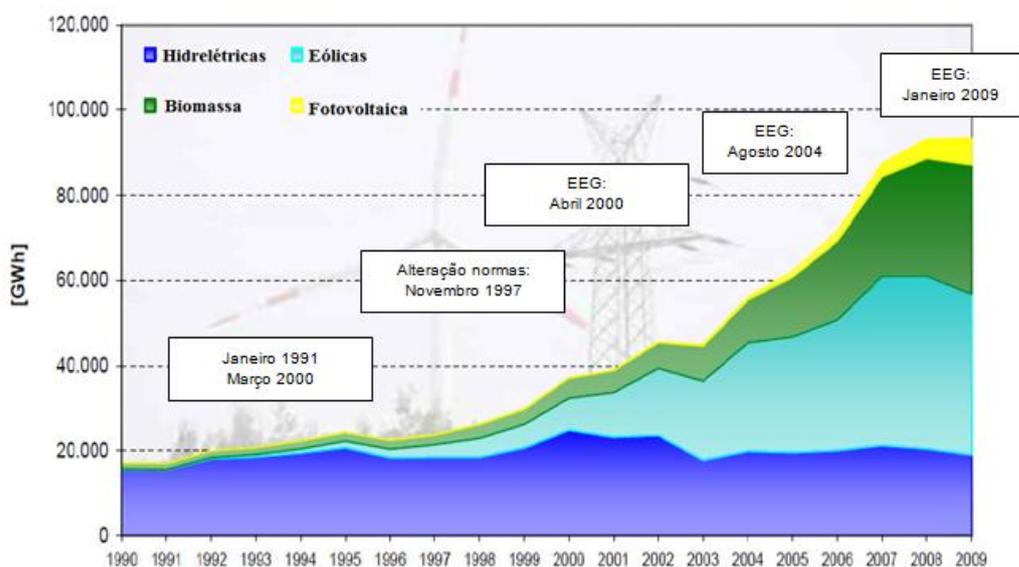


Figura 1.3 – Crescimento da geração com fontes renováveis na Alemanha (LEAL, 2009).

Pela análise da Figura 1.3 percebe-se o forte crescimento das fontes eólica, fotovoltaica e biomassa na matriz energética da Alemanha.

1.3 Aspectos para viabilizar a microgeração com fonte fotovoltaica no Brasil

Ao analisar os aspectos da inserção da microgeração fotovoltaica no mundo, percebe-se claramente que há um forte incentivo governamental nos países onde este tipo de geração progrediu mais fortemente.

Em países que possuem a geração à base de combustíveis fósseis fica evidente a necessidade de dominar as tecnologias de geração a partir de fontes renováveis de energia, onde se enquadra a fotovoltaica. Além disso, com este tipo de ação há uma diversificação da matriz energética, formação de conhecimento e novas técnicas que significarão valor agregado aos produtos do país em questão.

Outro aspecto relevante é o valor crescente da tarifa de energia, o que pode tornar a geração própria viável financeiramente. No Brasil, embora não exista uma forte participação de combustíveis fósseis na matriz energética, há um custo que envolve a transmissão da energia que é gerada a longas distâncias dos centros consumidores. Com a microgeração próxima dos pontos de consumo, mesmo com um valor de geração maior, se pode retirar grande parte do custo da transmissão, pois o sistema estaria ligado diretamente na rede de distribuição de energia em BT ou MT.

Além destes pontos, um possível alívio no sistema de geração centralizado deve ser focado na medida em que a Tarifa Branca (ANEEL, 2012e) for sendo implantada no Brasil. O custo maior da energia em horários de pico deve ser um dos fatores que incentivará o consumidor a possuir geração própria, mantendo sua prática de consumo de energia, sem onerar demasiadamente o sistema de fornecimento de eletricidade e o seu gasto com energia durante esse período de tempo.

Outra forma de melhorar os aspectos de viabilização da geração fotovoltaica é explorar o recurso básico e primordial para a fabricação dos painéis: o Silício. O solo brasileiro é rico neste material. O processo de transformação do Silício para o grau eletrônico de pureza, requisito para implantação em sistemas de geração fotovoltaica, está sendo desenvolvido e, em laboratórios acadêmicos, este nível de

purificação foi atingido (CÔRTEZ, 2012). Neste momento, estão sendo estudadas e viabilizadas algumas formas de estruturar o processo industrial para a fabricação nacional dos módulos ou células fotovoltaicas utilizadas nos painéis comerciais.

Além disso, o país possui níveis muito bons de irradiação solar, pois estamos na região compreendida nos 30º de latitude, ao Norte ou ao Sul do Equador, denominada “cinturão solar” (FARRET, 2010). Isso nos coloca duas questões antagônicas: enquanto aumenta nossa possibilidade de transformação de energia fotovoltaica em elétrica, diminui a eficiência dos painéis porque o aquecimento contribui negativamente para a geração efetuada. Hoje, os módulos geradores são produzidos para uma temperatura ambiente inferior a 20°C, enquanto na região a ser estudada se pode chegar até 35°C no verão.

Através dos pontos destacados e as características necessárias para implantar a microgeração, o Brasil apresenta um grande potencial para realizar esse processo de geração distribuída com fonte fotovoltaica e buscar um desenvolvimento tecnológico nesta área.

1.4 A microgeração distribuída com fonte fotovoltaica aplicada nas estações de telecomunicações

A Resolução 482/2012 define a microgeração distribuída como a central geradora de energia elétrica com potência instalada de até 100 kW, inclusive, e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

As estações de telecomunicações, prédios utilizados para abrigar os equipamentos e serviços necessários para prestação deste serviço, estão presentes em todo território nacional, devendo atender qualquer localidade com mais de 100 habitantes (ANATEL, 2012). Na região em estudo, existem 144 estações e 83 estão em pequenas localidades. Esses prédios possuem um formato padrão e podem ser analisados de forma conjunta a partir das características comuns que possuem:

- área construída,
- posição geográfica na mesma região de irradiação solar,
- entrada de energia em BT e

- características similares de consumo de energia elétrica.

A partir da análise e verificação dos aspectos apresentados até aqui, este trabalho buscou demonstrar a sinergia existente entre a geração com fonte fotovoltaica e a alimentação dos equipamentos de telecomunicações, das estações de comunicação espalhadas pelo país, buscando delinear a implantação de um sistema de microgeração distribuída para a rede de telecomunicações do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, em estações de pequeno porte.

Alguns fatores comuns entre o sistema de geração fotovoltaica e as estações de telecomunicações somam-se para criar a sinergia citada:

- corrente contínua;
- tensão de 48 V (uma das tensões comerciais de módulos fabricados industrialmente);
- bancos de baterias dimensionado para a carga presente;
- controlador de carga e descarga das baterias.

Existem inúmeros casos de sistemas de telecomunicações que utilizam a geração fotovoltaica, mas sob o aspecto da geração esparsa (FARRET, 2010). Ou seja, são fontes isoladas para alimentação de cargas pontuais, sem interligação ao sistema convencional de distribuição de energia elétrica e dificuldades em conseguir agregar outras fontes de energia. Alguns exemplos são: comunidades indígenas de difícil acesso atendidas por Telefone de Uso Público (TUP) que se comunica com o sistema externo através de transceptores de rádio, Figura 1.4.

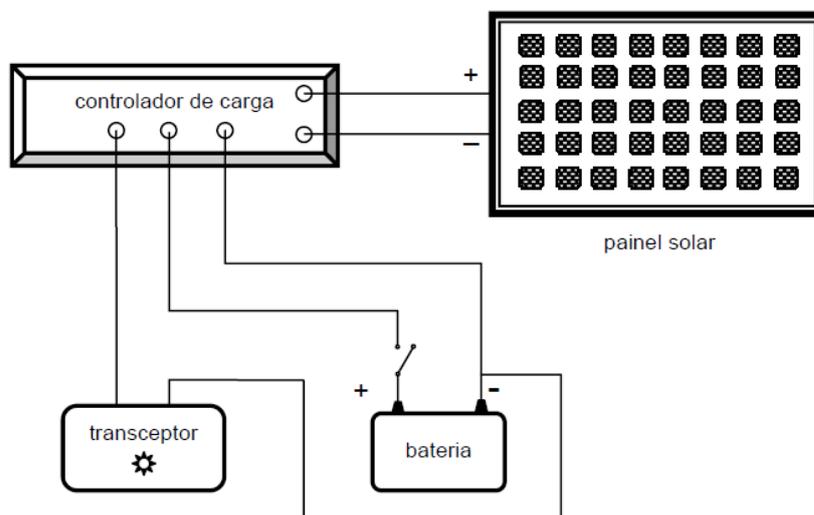


Figura 1.4 – Sistemas de telecomunicações com módulo solar. Fonte: (FARRET, 2010).

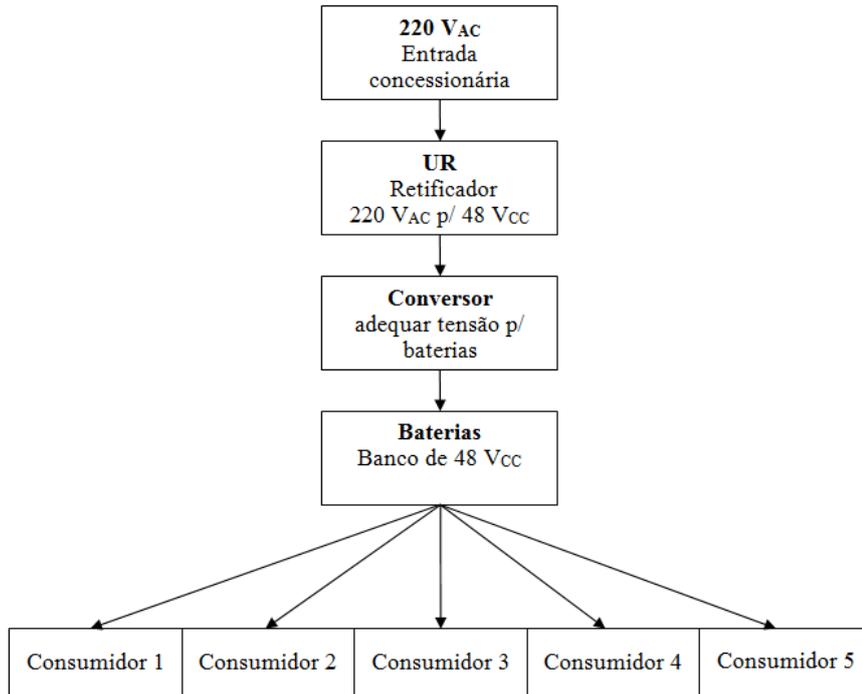


Figura 1.5 – Estrutura atual da alimentação das estações de telecomunicações. Adaptado de (RODRIGUES; ABAIDE; CANHA, 2012).

A estrutura básica de uma estação de telecomunicações é semelhante ao esquema da Figura 1.4. Com a união entre os sistemas apresentados tem-se, seguramente, uma redução dos custos de implantação da microgeração fotovoltaica. A Figura 1.5 apresenta a estrutura atual de alimentação das estações de telecomunicações e a Figura 1.6 indica a estrutura futura.

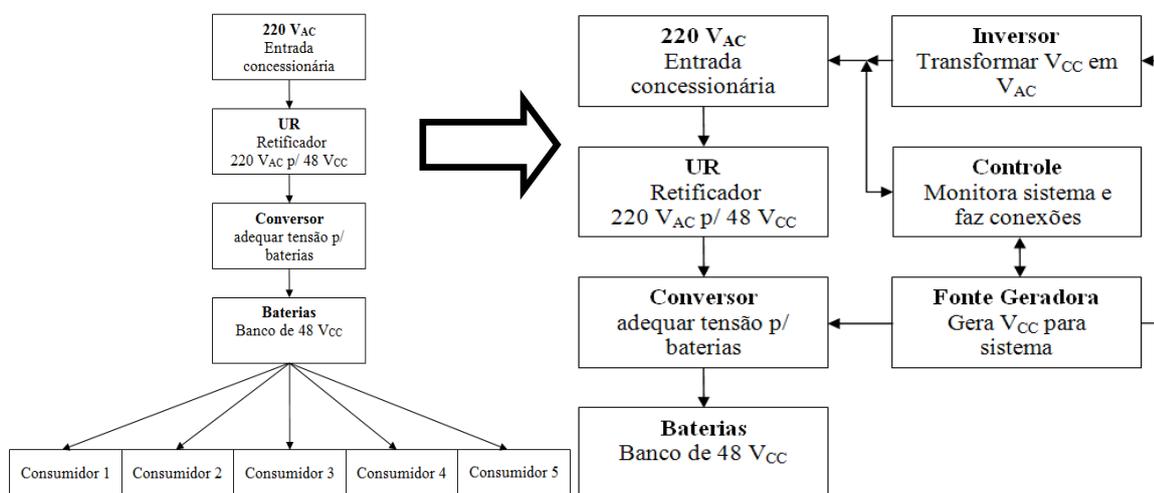


Figura 1.6 – Estrutura atual e futura da alimentação das estações de telecomunicações. Adaptado de (RODRIGUES; ABAIDE; CANHA, 2012).

Dessa forma, resumidamente, o projeto consiste em inserir o painel fotovoltaico no teto dos prédios das estações de telecomunicações da região em estudo, realizando as adaptações necessárias e criando um sistema de microgeração distribuída com fonte fotovoltaica a partir de cada unidade consumidora de pequeno porte, conforme a Figura 1.8 apresenta.

1.5 Considerações sobre a metodologia proposta para análise

Para analisar o sistema proposto de forma integrada, serão utilizadas técnicas heurísticas de resolução, de forma a encontrar a melhor solução de acordo com determinadas condições apresentadas (COLIN, 2007), aliadas a conceitos da Engenharia Econômica e do Método Simplex de Programação Linear.

Os métodos heurísticos, geralmente, são formados por um conjunto de regras e análises que levam à descoberta e à resolução de problemas específicos. Dessa forma, serão analisados os custos verificados para a microgeração de energia, o custo da energia consumida para uma estação e a relação entre estes dados para indicar a relação custo e benefício para o sistema proposto.

Para isso, serão atribuídos valores e simuladas algumas condições para a inserção de energia a partir de uma rede de microgeração com fonte fotovoltaica de forma a analisar a viabilidade técnica e financeira deste estudo, com objetivo de transformá-lo em um futuro projeto aplicado.

Em sistemas ativos, qualquer nova funcionalidade a ser acrescida deve ser exaustivamente validada em nível de projeto de forma que o nível de confiabilidade seja alto, permitindo sua aplicação prática (PAULESCU; PAULESCU-TULCAN; STEFU, 2010). Nestes processos, inúmeras ações são recriadas a partir de conhecimentos adquiridos por experiência prática, observações sob novo enfoque ou união de várias técnicas, para serem validadas, que devem ser verificadas teoricamente e comparadas com a realidade atual, como em Spitzley et al (2006).

Será proposto um fluxograma que deverá representar a análise sob o contexto geral, podendo servir de base para outros processos analíticos futuros que visem atender a solicitações de inserção de microgeração de energia, sendo, assim, uma ferramenta útil para discernir sobre a viabilidade financeira neste tipo de empreendimento (GONZÁLEZ-MONROY; CÓRDOBA, 2001).

Para avaliar este processo, analisaram-se as características de geração fotovoltaica para o local em estudo, a temperatura média da região, períodos de insolação no ano em contrapartida com a necessidade de energia das estações de telecomunicações. Com essas informações foi possível avaliar o melhor ponto para inserir a microgeração de energia a partir do valor pago por kWh consumido, utilizando o Método Simplex. Através dos conceitos da Engenharia Econômica foram avaliadas situações de economia na fatura de energia elétrica e potencial de venda da energia produzida.

Assim, as análises heurísticas que serão utilizadas terão o objetivo de criar um ambiente confiável, capaz de tornar o estudo aplicável e com retorno prático, tanto técnico quanto financeiro, ao empreendedor da microgeração de energia elétrica proposta que, neste caso, são as operadoras de telecomunicações.

Considerações Finais

Este capítulo buscou apresentar o estado da arte para os requisitos básicos da microgeração de energia elétrica no Brasil e no mundo. Os principais pontos que devem ser explorados no trabalho foram citados para que possam ser detalhados nos próximos capítulos deste trabalho.

No próximo capítulo será apresentado o potencial de geração fotovoltaica da região onde o estudo irá focar sua atenção e conseqüente capacidade de gerar energia elétrica a partir desta fonte.

2 POTENCIAL DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM FONTE FOTOVOLTAICA NA REGIÃO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

A microgeração de energia elétrica, a partir de pequenas fontes de energia (FARRET, 2010), pode trazer ao sistema elétrico brasileiro a possibilidade de aproveitar todos os potenciais energéticos existentes e uma maior descentralização da geração.

Para que isso ocorra, faz-se necessária a inserção de vários pontos microgeradores, formando uma rede de microgeração distribuída, de forma que cada unidade possa vir a se somar às demais e contribuir com um aporte de energia capaz de atender cargas que hoje são mantidas por centrais geradoras de médio ou grande porte através de longas linhas de transmissão de energia elétrica.

Além disso, a microgeração distribuída aproxima as fontes das cargas, gerando um melhor aproveitamento de todo o potencial energético disponível no sistema elétrico de potência.

Com a ampliação da geração distribuída, poderia ser melhorada a capacidade do sistema elétrico como um todo, diminuindo o uso das grandes fontes hídricas e melhorando a capacidade de atendimento a picos isolados de consumo.

Nesse contexto, a Resolução 482/2012 (ANEEL, 2012a) veio preencher a lacuna da micro e da minigeração de energia a partir das unidades consumidoras de baixa tensão, com capacidade de inserção desta potência gerada diretamente na rede de distribuição.

No entanto, ainda existem algumas pendências nas normas técnicas a serem emitidas pelas concessionárias e permissionárias de energia. Essas regras devem prever requisitos mínimos de qualidade, segurança e eficiência energética para os projetos de micro e minigeração que desejam a interligação elétrica com a rede de distribuição. Caso não exista essa regulamentação local, aplicam-se as normas previstas na Seção 3.7 do PRODIST (ANEEL, 2012f). A partir disso, as unidades consumidoras que dispuserem de fontes de geração, podem ser interligadas na rede de distribuição e aproveitar o sistema de compensação de energia, ou seja, trocar a potência ativa consumida pela gerada.

Ao aplicar esses conceitos na estrutura da rede de telecomunicações da região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul surge a oportunidade de inserir diversas unidades de microgeração de energia. Para isso analisou-se as principais fontes renováveis de energia disponíveis para essa área e passíveis de uso nas estações (RODRIGUES; ABAIDE; CANHA, 2012) que atendem a prestação desse serviço.

Logo, nesta avaliação, a geração de energia a partir da biomassa e de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) foram descartadas por não estarem presentes nos locais e simplesmente não haver disponibilidade dos recursos básicos para implementá-las. Com isso, a análise concentrou-se nas outras duas fontes renováveis presentes em toda região: eólica e fotovoltaica.

2.1 Análise das fontes eólica e fotovoltaica para criação de microgeração distribuída nas estações de telecomunicações

Conforme Farret (2010), aproveitar as fontes renováveis significa retirar da natureza uma energia que está presente naquele momento e que, se não utilizada, será perdida. Sob este enfoque, o principal ponto no aproveitamento energético das fontes renováveis deve ser a energia convertida e utilizada, mesmo que de forma não otimizada, ou seja, o foco deve ser o aproveitamento e não a eficiência energética, pelo menos em um primeiro momento. Assim, ao utilizar uma conversão energética com 10 ou 15% de eficiência momentânea, por exemplo, significa retirar da natureza uma quantidade de energia que será perdida no momento seguinte.

Para decidir qual fonte renovável é mais adequada à rede de microgeração de energia elétrica, a ser instalada em estações de telecomunicações, foram apresentadas as principais características da fonte eólica e da fonte fotovoltaica para avaliar esses aspectos na região selecionada.

A geração de energia a partir da fonte eólica requer quantidade de ventos constantes, numa velocidade média suficiente para manter o ciclo de geração por um período predeterminado e capaz de suprir suas cargas. O vento, por sua vez, costuma ser mais forte quanto mais alta for sua captação, o que dificulta a instalação e manutenção dos equipamentos envolvidos. Neste caso, para as telecomunicações, acarretaria um reforço das estruturas prediais e de torres, gerando custos e

colocando o sistema ativo em risco operacional devido, principalmente, ao esforço mecânico excessivo dos aerogeradores, visto que estarão em constante movimentação e gerando forças horizontais, pelo impacto do vento em suas pás.

A geração de energia elétrica a partir da fonte fotovoltaica em unidades de microgeração apresenta várias características importantes para seu aproveitamento:

- área útil disponível para instalação dos painéis no telhado dos prédios.
- para cada região brasileira há um perfil estudado e bem definido de irradiação solar em todos os períodos do ano.
- possui vida útil de pelo menos 20 anos.

A captação desta energia pode ser considerada fácil, bastando expor o painel à iluminação solar. No entanto, apresenta uma limitação horária na geração, apenas período diurno do dia, o que significa uma média de 8 horas diárias para o clima temperado onde se situa a região em estudo (ANEEL, 2006). Quanto às estações de telecomunicações possui as mesmas similaridades apresentadas no Capítulo 1 e na seção anterior e que criam a possibilidade de reduzir os investimentos na implantação do sistema, principalmente na parte de armazenamento de energia com acumuladores.

A Tabela 2.1 apresenta uma comparação das principais características destas duas fontes em estudo.

Tabela 2.1 – Características para geração com fonte eólica e fonte solar.

CARACTERÍSTICA	FONTE EÓLICA	FONTE SOLAR
Altura mínima de captação	Sim	Não
Área disponível para uso nos prédios	Não	Sim
Horas de geração por dia	24	8
Período de vida útil em anos	5	20
Fornecimento em corrente contínua	Sim	Sim
Estudos definindo capacidade de geração	Sim	Sim

A partir das características apresentadas, o estudo foi focado na fonte fotovoltaica por ter suas necessidades mais facilmente atendidas pela estrutura atual dos prédios das estações de telecomunicações. A energia solar aproveitada e convertida pode ser interligada ao sistema de alimentação em corrente contínua de forma a ser disponibilizada aos consumidores internos, como apresentado

anteriormente na Figura 1.6. A Figura 2.1 demonstra como ficará o novo diagrama em bloco da estrutura de alimentação das estações de telecomunicações de pequeno porte a partir da inserção da microgeração.

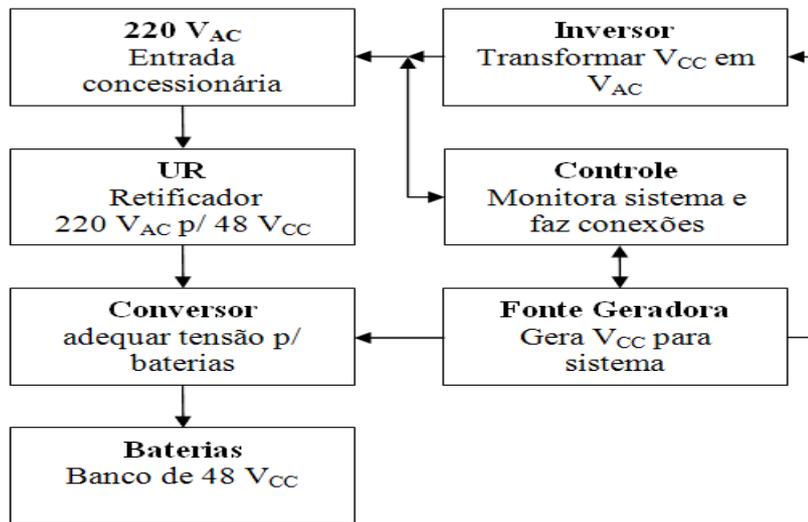


Figura 2.1 – Estrutura futura da alimentação de uma estação de telecomunicações. Fonte: (RODRIGUES; ABAIDE; CANHA, 2012).

O excedente de energia, se houver, poderá ser comercializado de acordo com a conveniência da empresa e do melhor uso para o sistema de compensação de potência consumida e gerada, previsto na Resolução 482/2012. Para isso, será necessário adaptar o sistema de medição para efetuar o processo de forma bidirecional, diferentemente do que é hoje.

2.1.1 Requisitos mínimos para ligação da microgeração

Segundo a Resolução 482/2012, a normatização das concessionárias para ligação da micro e minigeração distribuída deveria ter sido emitida até janeiro de 2013. Mas, não houve evolução no assunto por parte de algumas concessionárias. Dessa forma, a interligação dos sistemas de microgeração e minigeração de energia, nessas áreas, caiu na lacuna da resolução, prevista no artigo:

§ 2º Após o prazo do § 1º, a distribuidora deverá atender às solicitações de acesso para microgeradores e minigeradores distribuídos nos termos da Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST. (ANEEL, 2012a, p 2).

O Módulo 3 do PRODIST (ANEEL, 2012f), Seção 3.7, por sua vez, trata especificamente dos processos necessários para o acesso da micro e minigeração distribuída. Entre outras características, define os prazos para a conexão e celebração dos contratos, além dos requisitos mínimos que a distribuidora deve exigir do acessante em sua rede.

O Quadro 2.1 apresenta o tipo de conexão na rede de distribuição de acordo com a potência instalada da micro ou minigeração. As etapas de projeto e documentação obedecem, em sua maioria, os requisitos necessários às fontes de maior porte que requerem interconexão no SEP.

Potência Instalada	Nível de Tensão da Conexão
< 10 kW	Baixa Tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
10 a 100 kW	Baixa Tensão (trifásico)
101 a 500 kW	Baixa Tensão (trifásico) / Média Tensão
501 kW a 1 MW	Média Tensão

Quadro 2.1 – Níveis de tensão considerados para conexão de micro e minicentrals geradoras de energia elétrica.

Fonte: (ANEEL, 2012f)²

2.2 O potencial de geração de energia elétrica com fonte fotovoltaica

Para analisar o potencial energético da proposta do sistema de microgeração distribuída com fonte fotovoltaica, foram apresentados alguns pontos favoráveis ao seu uso e, posteriormente, essas informações foram aplicadas na região em análise. Resumidamente, as informações disponíveis de outros locais onde este tipo de geração é mais utilizada foram comparadas com a região em estudo.

² Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

2.2.1 Informações gerais sobre a irradiação solar

Inicialmente é importante conhecer como ocorre a irradiação solar e de que forma ela chega até a superfície. A radiação interceptada pela Terra pode ser dividida em duas parcelas: a primeira, no nível extraterrestre diretamente proporcional ao tamanho da esfera terrestre que se coloca a sua frente; e, a segunda parcela, que sofre as influências da atmosfera até chegar à superfície.

A radiação proveniente do Sol depende diretamente da distância até a Terra. A redução da energia obedece à regra do quadrado da distância e, portanto, as variações desta medida acarretam uma maior diferença no quantitativo de energia interceptada pelo planeta. No entanto, a Terra tem uma variação de apenas 3,3% na energia absorvida entre o período mais distante e o mais próximo do Sol. Com isso, pode-se adotar uma irradiação média para o ano na área extraterrestre (HOTTEL, 1976).

As perdas da atmosfera terrestre são definidas pela Transmitância Global, que representa a proporção da radiação solar determinada no limite extremo da atmosfera que efetivamente atinge a superfície terrestre. Esse fator depende diretamente de fatores atmosféricos, tais como: nebulosidade, hora do dia, ângulo zenital, etc. A Figura 2.2 indica como é efetuado o nível de irradiação em determinado ponto da superfície. Para entendê-la é necessário conhecer:

- Q_0 – irradiação solar extraterrestre diária (W/m^2).
- Q_g – irradiação solar global diária (W/m^2).
- n – insolação ou número de horas de brilho solar (h).
- N – fotoperíodo, ou número de horas entre o nascente e o poente (h).

A partir da Figura 2.2 é importante apresentar a Equação (2.1) conforme Schöffel e Lago (2012) para analisar a irradiação solar em qualquer ponto da superfície a partir de dados tabelados para os fatores da transmitância global.

$$Q_g = Q_o \times a + b \times \frac{n}{N} \quad (2.1)$$

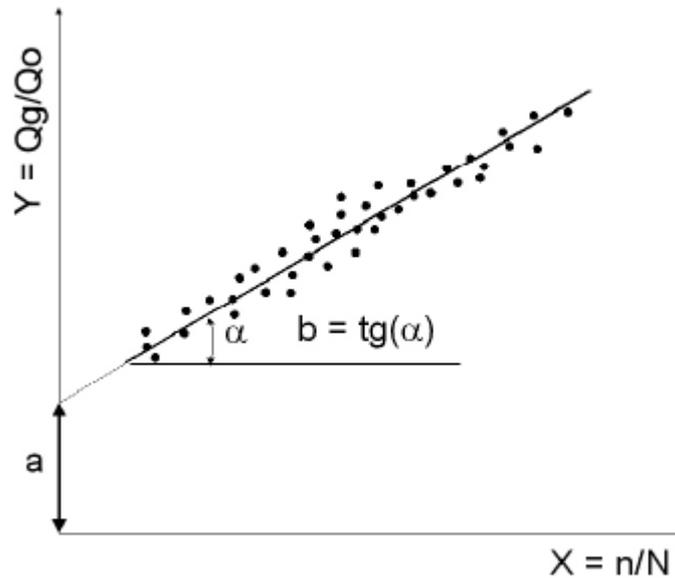


Figura 2.2 – Medida da irradiação solar para uma determinada latitude. Fonte: (PEREIRA et al, 2006)

Nesta análise, Q_o e N consideram a latitude e época do ano, respectivamente; a e b consideram os fatores que afetam absorção e difusão da insolação na superfície respectivamente; n , por sua vez, representa a nebulosidade da área em cada período analisado.

Assim, caso não seja possível medir diretamente o nível de irradiação solar num ponto, pode-se aproximar o valor a partir do conhecimento da latitude, período do ano, número de horas de Sol e insolação solar direta.

A seguir é apresentado um exemplo prático de como calcular o nível de irradiação solar numa determinada latitude do planeta. Para isso, foram adotados os valores $a = 0,29 * \cos \alpha$, $b = 0,52$, sendo os fatores 0,29 e 0,52 uma aproximação média para o Brasil, $\alpha = 30$ representando uma latitude do Rio Grande do Sul, o período do ano considerado foi outubro, que para essa latitude representa $Q_o = 36,95 \text{ MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$, $N = 12,8 \text{ h}$ e $n = 8,5 \text{ h}$.

A aproximação é feita a partir da Equação (2.1):

$$Qg = 36,95 * 0,25 + 0,52 * \frac{8,5}{12,8} = 22 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ dia}} = 255 \text{ W}/\text{m}^2$$

Dos dados obtidos a meteorologia usualmente determina a irradiação solar em $\text{MJ}/(\text{m}^2.\text{dia})$. Para a análise da geração a partir da fonte fotovoltaica foi adotado o valor em W/m^2 que pode ser diretamente empregado para cálculos e aproximações para a geração de energia. Como $1 \text{ J}/\text{s} = 1 \text{ W}$, o dia será transformado em segundos.

Assim, 1 dia em segundos será igual a 86.400 s ($24 \text{ h} * 60 \text{ min} * 60 \text{ s}$). Com isso, uma irradiação solar de $20 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$ é igual a $231 \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ou $231 \text{ W}/\text{m}^2$.

Para as análises dos próximos capítulos foi priorizado o valor em kWh/m^2 por exprimir mais diretamente as grandezas necessárias para a geração de energia e por estarem disponíveis no Atlas Solar Brasileiro da ANEEL (2006). Dessa forma, as definições técnicas ocorreram de forma direta a partir da área disponível e localização do ponto da instalação.

2.2.2 Informações sobre a temperatura e o rendimento dos painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos apresentam características intrínsecas que os fazem perder rendimento à medida que aumenta sua temperatura de operação. A Figura 2.3 apresenta um exemplo da relação entre o aumento da temperatura e a eficiência da conversão energética para um tipo de painel estudado especificamente quanto a esse fator. Nesta figura são retratados experimentos feitos para um mesmo painel onde se pode observar que o ponto ótimo de operação vai diminuindo à medida que a temperatura de operação vai aumentando. Assim, por exemplo, enquanto aos $26,85 \text{ }^\circ\text{C}$ tem-se um ponto máximo em torno dos 18 V e 50 W, aos $86,85 \text{ }^\circ\text{C}$ esse ponto ocorre ao redor de 13 V e 35 W, conforme marcado na Figura 2.3. Ou seja, há uma diminuição da tensão de saída e conseqüentemente da potência geral de saída do painel. A corrente, por sua vez, não é tão influenciada pelo aquecimento ou resfriamento do equipamento durante o funcionamento ficando, nesse caso, em torno de 2,7 A.

Embora o rendimento diminua na medida em que a temperatura cresce, percebe-se que essa variação é proporcional, o que permite uma análise prévia das condições de operação do painel de acordo com suas características intrínsecas de construção, que irão determinar suas respostas em operação. Esses parâmetros são dimensionados em laboratório e acompanham os painéis em sua documentação de venda. Para este caso, ocorre o detalhamento no Capítulo 5, onde também é determinada a capacidade de geração de energia elétrica do sistema. Mesmo com esta característica, percebe-se que a curva de resposta não é alterada, permitindo que um sistema de otimização para máxima potência mantenha o mesmo tipo de análise em qualquer temperatura de operação.

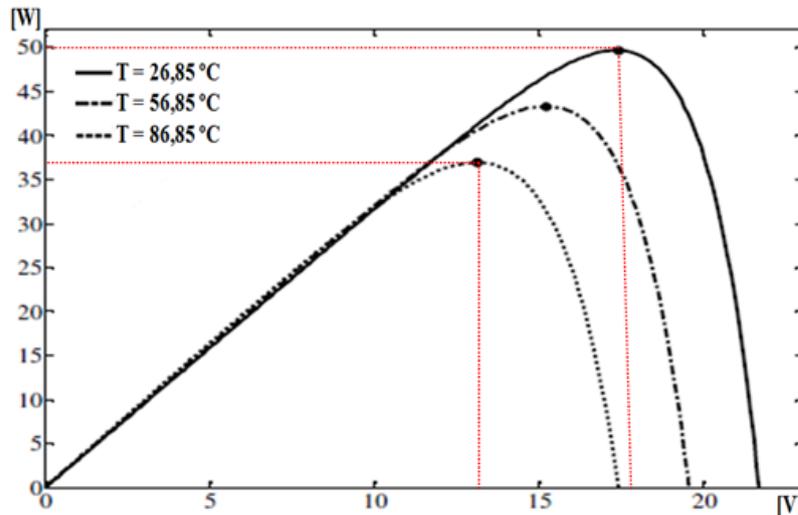


Figura 2.3 – Perda de rendimento dos painéis solares com a temperatura (adaptado). Fonte: (FARANDA; LEVA; MAUGERI, 2008).

O ideal é que o comportamento das células fosse similar à supercondutividade (NARAYANAN; YAMAGUCHI, 2003), ou seja, apresentar características de ausência de perdas. No entanto, ao contrário da supercondutividade real, este processo deveria ocorrer ao se elevar a temperatura de operação, pois os painéis têm de ficar expostos ao Sol e o melhor seria que o rendimento fosse diretamente proporcional à temperatura, o que não ocorre.

2.2.3 Impactos ambientais da geração fotovoltaica

A geração de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos pode ser considerada limpa, ou seja, sem gerar resíduos para a natureza durante seu período de operação. No entanto, a mineração do Silício e a fabricação dos módulos geram impactos significativos (FUKUROSAKI, 2011). Para avaliar essas questões foram criados alguns conceitos necessários para tal.

Uma destas características é o Tempo de Retorno do Investimento em Energia ou, como é mais conhecido, pela sigla em inglês: *Energy Payback Time* (EPBT). Os fabricantes não têm colocado esse dado em seus catálogos de venda, mas esta informação é importante para sinalizar quando o painel terá uma geração de energia que compense a que foi gasta em sua fabricação. Os primeiros equipamentos desta área apresentavam um balanço negativo deste fator.

Atualmente, os modernos sistemas de geração fotovoltaica apresentam um EPBT de 4 a 5 vezes menor que sua vida útil, dependendo do tempo considerado como tal, geralmente entre 20 e 30 anos (FUKUROSAKI, 2011).

Outra característica importante é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Vários estudos desse tema reforçaram as vantagens da geração fotovoltaica, tais como: baixas emissões, mínima produção de ruídos, fácil manutenção, entre outros, durante sua operação (RAUGEI; FRANKL, 2009). No entanto, esses estudos também indicaram a necessidade de utilizar, cada vez mais, materiais menos agressivos ao meio ambiente na fabricação dos módulos e desenvolver processos de reciclagem para reaproveitamento destes equipamentos após o fim de sua vida útil.

Para efetuar o cálculo do EPBT e emitir a ACV de um sistema fotovoltaico, ainda é necessário conhecer mais uma característica importante: *Cumulative Energy Demand* (CED), ou Demanda Acumulada de Energia. O CED é conhecido como o somatório de todos os requerimentos de energia durante a vida útil do sistema de geração (FUKUROSAKI, 2011). Assim, esse conceito considera desde a energia gasta para criar o sistema de manufatura, passando pela utilizada durante a fabricação e indo até o descomissionamento da unidade geradora. Para o caso da energia fotovoltaica Fukurosaki (2011) demonstra que o requisito de energia durante a operação é praticamente nulo e apresenta o cálculo do EPBT, conforme a Equação (2.2):

$$EPBT = \frac{E_{entrada}}{E_{saída}} \quad (2.2)$$

A energia de entrada corresponde ao CED apresentado para os módulos, enquanto a energia de saída depende diretamente de alguns parâmetros dos módulos fotovoltaicos:

- *Production Annual Energy* (PAE) ou Produção Anual Líquida, depende diretamente do Fator de Qualidade ou, do inglês, Performance Ratio (PR), tipicamente 0,72 de acordo com o relatório da Agência Internacional de Energia / Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica (2001).
- tipo de instalação,
- potência instalada,
- tecnologia empregada e

- localização geográfica da planta de geração.

Para calcular a PAE é utilizada a Equação (2.3), de acordo com Alsema e Wild-Scholten (2005):

$$PAE = PR * H * kWp \quad (2.3)$$

Onde:

PAE – Produção anual líquida

PR – Fator de Qualidade

H – Irradiação solar na região no período de um ano

kWp – potência instalada, dada pela área total de incidência de irradiação solar no painel versus a potência do painel por m² (kWp/m²)

Assim, para uma região com 5 kWh/m² de irradiação solar e uma potência instalada de 5 kW, por exemplo, se tem: $H = 1825 \text{ kWh.dia/m}^2$ ($5 * 365$), $kWp = 35.000 \text{ kW.W}$ ($5 * 35 * 200$). A *PAE* deste sistema seria igual a 126 kWh.ano/m².

2.3 Dados para geração fotovoltaica na região Noroeste do Rio Grande do Sul

As características de incidência da irradiação solar na região sob análise estão apresentadas na Figura 2.4, a partir do Atlas Solarimétrico Brasileiro da ANEEL (2006). A região foi recortada do mapa principal do Brasil e teve o código de cores da irradiação solar adicionado como legenda.

Essa região apresenta uma incidência de irradiação solar em torno de 5 kWh/m² o que, se comparada com outras regiões do Brasil, por exemplo, não representa um alto índice desse fator primordial para o tipo de geração proposta. No entanto, ao compará-la com áreas do planeta onde a geração fotovoltaica está sendo mais utilizada, esse valor torna-se relativamente bom.

Outro fator importante para a geração fotovoltaica é a temperatura ambiente média. Essa região está situada numa área de clima temperado, o que colabora para que não apresente temperaturas muito altas, melhorando o rendimento dos painéis (NARAYANAN; YAMAGUCHI, 2003).

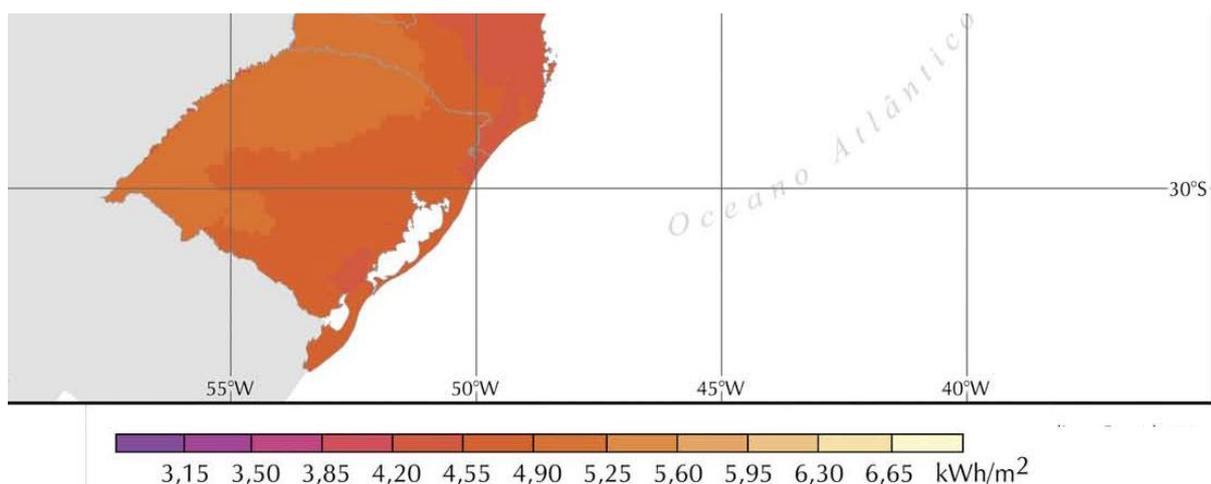


Figura 2.4 – Dados da irradiação solar no Estado do Rio Grande do Sul (adaptado). Fonte: (PEREIRA et al, 2006).

As marcações de latitude e longitude, na Figura 2.4, foram mantidas para permitir posteriores análises da temperatura média e posicionamento geográfico para a irradiação solar.

2.3.1 Comparativo da região em estudo com outros locais do mundo

Ao observar o mapa mundial da irradiação solar da Figura 2.5, percebe-se que o Brasil é privilegiado quanto ao potencial energético para a fonte fotovoltaica e a região em estudo possui um valor médio superior aos principais produtores mundiais de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos que são a Alemanha e a Itália.

Com isso, essa área estaria abaixo apenas das regiões desérticas da África e da Oceania, além de áreas próximas ao círculo equatorial. No entanto, essas regiões desérticas têm perdas de rendimento (FARANDA; LEVA; MAUGERI, 2008) dos painéis devido à temperatura elevada de operação, além de um menor número de horas de Sol no verão. Esse fator de melhor rendimento dos painéis foi adotado como um ponto positivo para que áreas menos favorecidas pela irradiação solar, como a Europa, investisse na geração com fonte fotovoltaica, além do evidente desenvolvimento tecnológico. Somam-se a isso os incentivos governamentais, diversificação da matriz energética e necessidade de desenvolver tecnologias limpas para a geração de energia e atendimento dos compromissos assumidos quanto à

emissão de CO₂. Na Alemanha, por exemplo, a capacidade de potência instalada supera as duas dezenas de GW (REN21, 2012).

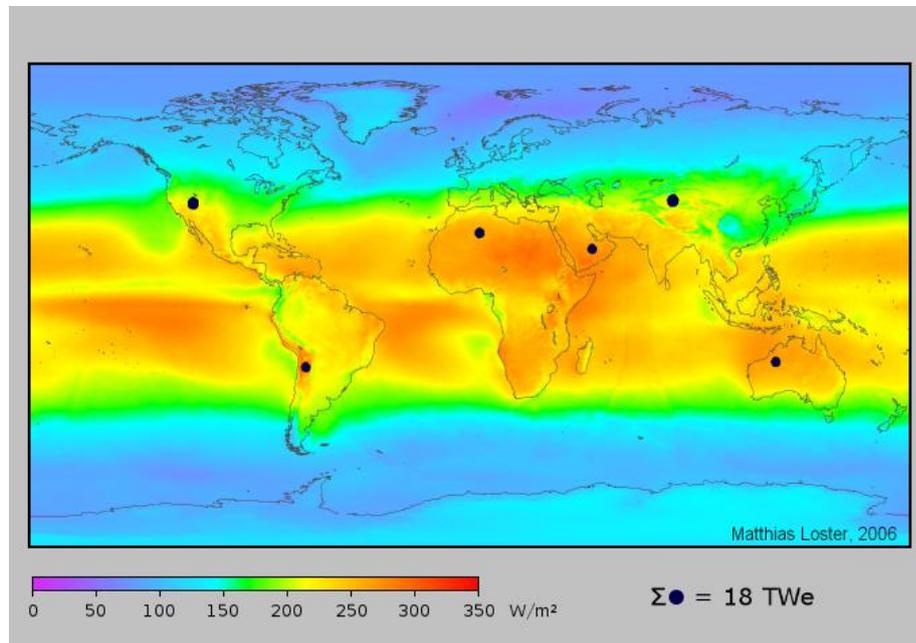


Figura 2.5 – Dados da irradiação solar mundial (adaptado). Fonte: (SHEFFIELD UNIVERSITY, 2010).

O Quadro 2.3 apresenta os principais países com geração fotovoltaica no mundo, sendo que do terceiro até o sexto colocado no ranking há uma pequena diferença de potência instalada que pode vir a se alterar muito em breve, dependendo dos incentivos e investimentos de cada país nos próximos anos.

PAÍS	RANKING SOLAR	POTÊNCIA INSTALADA EM GW
Alemanha	1	Acima de 23
Itália	2	Acima de 12
Japão	3	Acima de 4
Espanha	4	Acima de 4
Estados Unidos	5	Acima de 4
China	6	Acima de 3

Quadro 2.3 – Países com maior capacidade instalada de geração de energia elétrica a partir da fonte solar.

Fonte: (REN21, 2012).

A Tabela 2.2, por sua vez, apresenta os principais fatores inerentes à geração fotovoltaica, comparando a região alvo com outras regiões onde este processo está mais avançado, conforme indica o Quadro 2.3.

Tabela 2.2 – Fatores importantes para a geração fotovoltaica.

CARACTERÍSTICA	Região NO do RS	Alemanha	Itália	Espanha
Irradiação solar (kWh/m ²)	5	1,1	1,5	1,4
Temperatura média (°C/ano)	18	9	15	14
Horas de Sol diária por ano	8	4,9	6,8	7,8
Umidade relativa média	79	78	69	64
Tempo regulamentação (anos)	1	5	6	5
Potência instalada 2011 (MW)	0	26 k	12 k	6 k
Incentivo governamental	Não	Sim	Sim	Sim

Fonte: adaptado de (BBC WEATHER, 2013); (LAMIN, 2009); (REN21, 2012); (DEPLAN RS, 2011); (INMET, 2012).

2.3.2 Comparação da região escolhida com a Alemanha

Conforme o Quadro 2.3, a Alemanha é o principal país do mundo na geração fotovoltaica, tendo conseguido atingir a geração de 21,1 GW de potência apenas das fontes fotovoltaicas no mês de maio de 2012, criando um novo recorde mundial (SMA-SOLAR TECHNOLOGY, 2012).

Toda essa capacidade de aproveitamento da energia proveniente do Sol pode dar a falsa impressão que há uma grande incidência de irradiação solar nessa região, por se tratar do principal fator a influenciar na geração fotovoltaica. No entanto, a Alemanha está situada numa região onde essa característica é bem inferior a maior parte do Brasil, Figura 2.5, e possui 40% menos irradiação que a pior região brasileira nesse quesito que é o litoral Sul de Santa Catarina, conforme Rüter (2010).

Na Figura 2.6 é apresentada a irradiação solar na Alemanha, permitindo verificar uma média de 1,1 kWh/m². Comparando os dados da Figura 2.6 com a Figura 2.4 percebe-se que na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, no Brasil, a geração fotovoltaica atingiria um patamar mais expressivo que na Alemanha, pois, em média, possui 5 kWh/m².

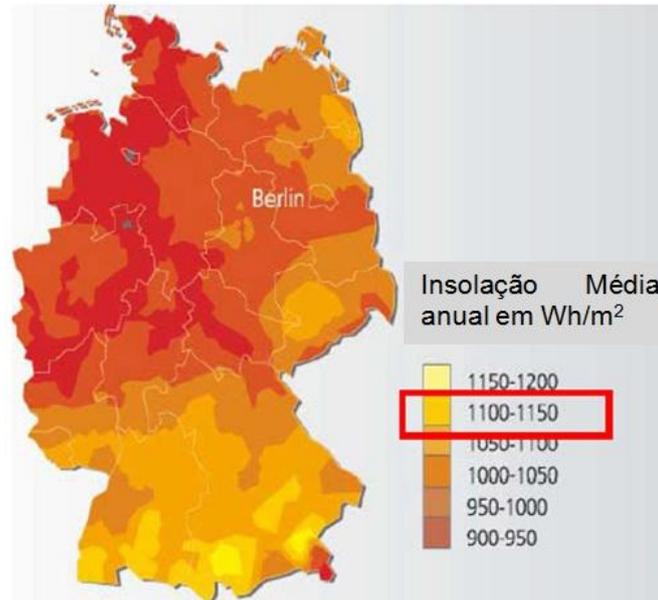


Figura 2.6 – Dados da irradiação solar na Alemanha (adaptado). Fonte: (RÜTHER, 2010).

A diferença entre a potência instalada no Brasil e na Alemanha reside, principalmente, nos incentivos governamentais, apresentados no capítulo anterior (LAMIN, 2009). Além disso, outros fatores que incrementaram o potencial energético desta fonte é a temperatura média de 9 °C (BBC WEATHER, 2013) e o desenvolvimento tecnológico incentivado para a diversificação da matriz energética e aumento do percentual de fontes renováveis nessa configuração.

Considerações Finais

Este capítulo apresentou as principais características que envolvem o sistema de geração de energia elétrica com fonte fotovoltaica. Esses fatores foram verificados para a região em estudo e comparados com outros locais do mundo de forma a trazer informação clara a respeito da capacidade energética que provém do Sol nessa área específica do Rio Grande do Sul.

O próximo capítulo traz mais detalhes sobre as estações de telecomunicações e as características comuns entre os sistemas de geração com fonte fotovoltaica e os equipamentos utilizados para a prestação do serviço de telecomunicações no Brasil.

3 ESTRUTURA BÁSICA DO SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES

O sistema brasileiro de telecomunicações foi privatizado por volta dos anos 2000. Inúmeras empresas, desde então, possuem licenças para explorar o serviço. No entanto, poucas detêm a concessão para a exploração em nível nacional. O foco deste trabalho está em aproveitar a estrutura predial, oriunda do antigo sistema TELEBRÁS, para criar um sistema de microgeração distribuída com fonte fotovoltaica.

Conforme apresentado nos capítulos anteriores, a estrutura de alimentação dos sistemas de telecomunicações é realizada com corrente contínua, na tensão de 48 V. Com isso, tem-se a possibilidade de aproveitar a geração fotovoltaica para suprir, ao menos, parte da energia dos equipamentos.

Nesta etapa do trabalho busca-se demonstrar as similaridades existentes entre a geração com fonte solar e a alimentação do sistema em corrente contínua, além de dar mais subsídios sobre as tecnologias e sistemas de operação e manutenção atuais da área de telecomunicações.

3.1 Principais equipamentos do sistema de telecomunicações

Os sistemas de telecomunicações, em sua concessão, têm de estar disponíveis 24h por dia, todos os dias. Para que isso ocorra, os cuidados com a estrutura de alimentação dos equipamentos é extremo, de forma a garantir a continuidade da prestação do serviço.

A Figura 3.1 apresenta como a estrutura de alimentação está organizada nas estações de forma simplificada, visto que a FCC e suas URs controlam carga e descarga do banco de baterias, bem como a conexão e desconexão dos consumidores na energia proveniente destes acumuladores.

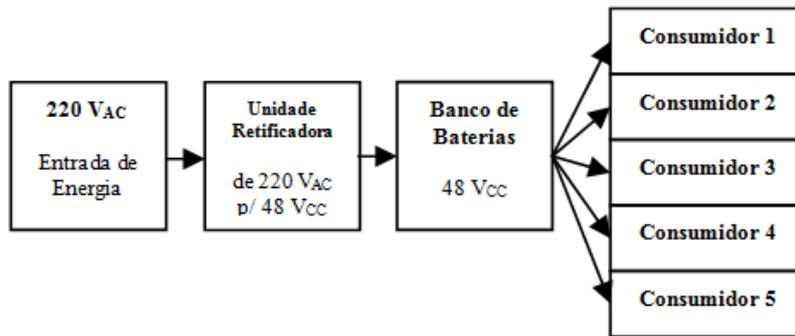


Figura 3.1 – Estrutura de alimentação das estações. Fonte: (RODRIGUES et al, 2013)

Os equipamentos são alimentados com tensão de 48 V, em corrente contínua. Assim, é instalado um banco de baterias antes da saída de energia em CC para os consumidores, de forma a estabilizar a tensão em corrente contínua e garantir uma autonomia mínima em caso de falta da energia em CA, proveniente da concessionária de distribuição local. Quando o banco de baterias está plenamente carregado não consome carga da fonte. No entanto, quando há descarga completa, em torno de 70% do máximo de tensão (em média) (SEMYONOV, 1976), há um consumo máximo de corrente para que ocorra a recarga o mais rapidamente possível.

3.1.1 Estrutura de entrada com corrente alternada

Embora este trabalho esteja focado em estações de pequeno porte, a estrutura de alimentação é bastante similar entre as estações de telecomunicações em geral. Algumas informações são generalizadas e as que forem específicas para um porte maior ou menor de estação de telecomunicações, são mencionadas. Dependendo do tamanho da unidade consumidora alguns itens desta topologia de alimentação são fixos, enquanto outros são portáteis. O Grupo Motor Gerador (GMG), por exemplo, para uma estação de médio porte é estacionário, enquanto para pequeno porte é um equipamento portátil, transportado para o local apenas em caso de falta de energia prolongada.

O primeiro equipamento do sistema de alimentação em CA é a Unidade de Supervisão em Corrente Alternada (USCA). A entrada de energia das estações é monitorada por este equipamento que é responsável por supervisionar a carga em cada fase, controlar o fator de potência, emitir alarmes para manutenção em caso de

alguma falha e comutar o GMG em caso de falta na alimentação AC da concessionária de energia.

O GMG, quando for estacionário, é composto de um motor diesel, sua bateria de partida e o controle de acionamento/desligamento. Onde não está fixado é um motor a gasolina que pode ser transportado por um técnico até o local da falta de energia da concessionária e instalado na USCA local. As entradas de energia, por sua vez, variam em trifásico, em média ou baixa tensão, e algumas monofásicas para as estações de pequeno porte.

3.1.2 Estrutura intermediária de retificação

Após a estrutura principal de alimentação AC o sistema possui retificadores que são adequados à carga instalada de cada estação. Assim, para estações maiores são fornecidos retificadores de grande porte onde cada Unidade Retificadora (UR) é capaz de fornecer 50, 100 ou até 500 A. Para as estações de pequeno porte utilizam-se várias URs de 12 ou 25 A de acordo com a demanda necessária e a tecnologia do fabricante da fonte.

Para uma Fonte de Corrente Contínua (FCC) de pequeno porte, uma UR tem de 12 a 25 A de corrente na saída. Neste caso, cada UR é uma fonte chaveada moderna e controlada eletronicamente, permitindo, inclusive, a conexão com computadores para ajustes via console computacional.

A FCC, além de fornecer a potência para as cargas, controla os eventos de carga e descarga dos bancos de baterias sob sua supervisão. Assim, é importante que exista uma folga considerável entre a capacidade de fornecimento de energia pela fonte e a demanda solicitada pelos equipamentos, pois é essa diferença que será utilizada para recarregar os acumuladores de energia após um período de descarga, suprindo as cargas da estação.

Por exemplo, para uma fonte de 45 A com a corrente da carga em torno de 30 A, sobriariam 15 A de capacidade para efetuar a carga do banco de baterias após retorno da energia CA e quanto maior essa folga, mais rapidamente será reposta a capacidade dos acumuladores. Além disso, é importante o ajuste correto da FCC para fornecer a tensão e corrente de carga correta para o banco de baterias de forma a prolongar sua vida útil.

Uma fonte de grande porte pode ter uma UR de 500 A de corrente na saída. Nesse caso aparecem componentes com dimensões maiores, discretos e formam um conjunto aplicado da eletrônica de potência convencional, com ajustes manuais, não computacionais.

3.1.3 Estrutura final da alimentação em corrente contínua

Após a retificação da energia o sistema de estabilização é composto de um ou vários bancos de baterias que atendam a demanda necessária a todos os equipamentos da estação, por um tempo mínimo de 8 horas. Assim, em caso de falta de energia a partir da concessionária os acumuladores devem manter o funcionamento dos equipamentos.

Dependendo do fabricante das baterias podem ocorrer variações, mas geralmente existe um nível de tensão recomendado para recarga e para flutuação, de acordo com a temperatura do local e o tipo de composto utilizado na fabricação dos dispositivos utilizados. Para que isso seja efetivo, faz-se necessário o ajuste preciso da FCC de forma a prolongar a vida útil dos elementos instalados em cada estação, o que faz com que sempre sejam utilizados acumuladores de energia de um mesmo lote e de um mesmo fabricante, devido às características intrínsecas dos mesmos.

Alguns conceitos são importantes para melhorar a capacidade e durabilidade dos bancos de baterias (TELECO, 2010):

- **Tensão de carga** – É uma tensão maior que visa readequar a carga de todos os elementos do banco e repor a energia após a descarga.
- **Tensão de flutuação** – É uma tensão um pouco menor que a tensão de carga e serve para manter a carga no banco de baterias enquanto há energia CA na entrada da FCC.
- **Corrente de carga** – É a corrente empregada durante o processo de carga das baterias, onde à medida que a carga dos elementos vai equalizando, esta circulação de corrente vai diminuindo.
- **Corrente de descarga** – É a corrente necessária para suprir todos os consumidores ligados nas baterias, seja diretamente em CC ou via inversores de tensão CC-CA.

- **Condutividade dos elementos** – É a capacidade das baterias de adquirir e manter a carga necessária de fornecimento aos consumidores.
- **Temperatura de operação** – Depende do fabricante e da capacidade dos elementos, mas geralmente é calculada para 25 °C.

3.1.4 Diagrama completo de uma estação de pequeno porte

A estrutura predial de uma estação de telecomunicações é apresentada na Figura 3.2. Pode-se verificar, nesse leiaute do prédio, que todos os equipamentos são alocados em pontos organizados por filas e bastidores que são alimentados através de esteiras.

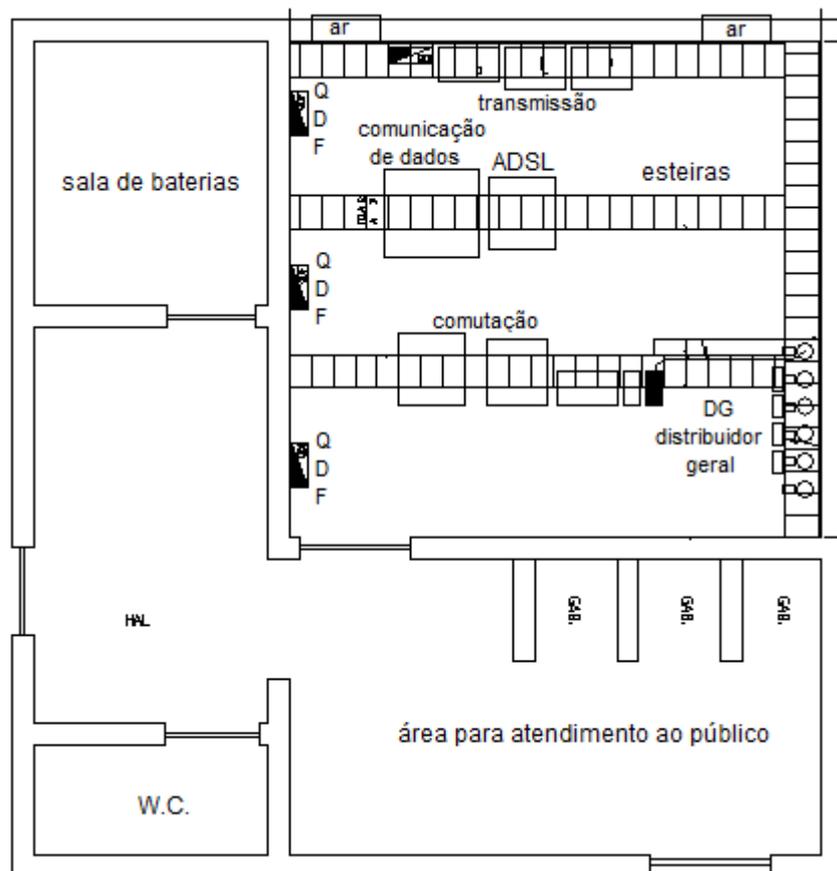


Figura 3.2 – Estrutura predial de uma estação típica.

O cabeamento lógico está instalado em esteiras que ficam numa altura diferente dos cabos de alimentação. Com isso, diminui a probabilidade de interferência eletromagnética gerada pelos próprios componentes de

telecomunicações. O aterramento utilizado é o modelo TT (PEREIRA, 2002) e compartilha o esteiramento com a alimentação dos equipamentos.

3.2 A Operação e Manutenção (O&M) do sistema de telecomunicações

Para que a prestação do serviço não seja interrompida e mantenha a qualidade, as empresas de telecomunicações adotam uma divisão de tarefas que visa otimizar a produção das equipes de trabalho e especializar os técnicos na execução de atividades similares.

Tabela 3.1 – Tipos de serviços fornecidos por uma estação de telecomunicações.

Consumidores	Principais Características
Serviço de Voz – STFC	Telefonia fixa
Serviço de Dados	Tráfego IP, ADSL, <i>Backbone</i>
Serviço Móvel Pessoal – SMP	Telefonia móvel
Iluminação e tomadas	Energia para funções operacionais

Fonte: (ANATEL, 2010).

A seguir são apresentadas as áreas técnicas e um resumo das principais atividades que cada equipe é responsável por realizar.

3.2.1 Transmissão (TX)

Esta área técnica é responsável pela comunicação entre as diversas estações. Geralmente, possui equipamentos interligados fisicamente por fibra ótica ou através do ar, com enlaces de rádio. Quanto maior o número de conexões de transmissão numa mesma estação, maior será seu consumo de energia e a importância deste ponto para a rede de telecomunicações. A Figura 3.3 apresenta a topologia típica com fibra ótica e a Figura 3.4, traz um exemplo de topologia com enlace de rádio. Analisando as duas figuras pode-se perceber que é possível adotar o enlace de rádio, com visada direta, para atendimento dos pontos D, E e F da Figura 3.3.

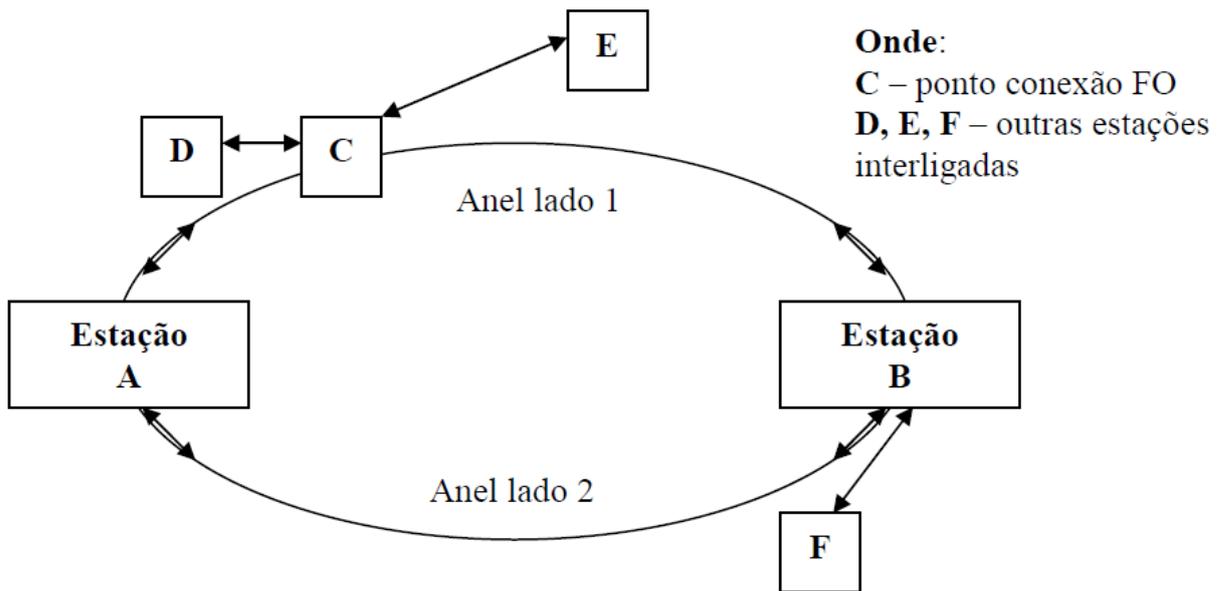


Figura 3.3 – Topologia típica em anel de transmissão via fibra óptica.

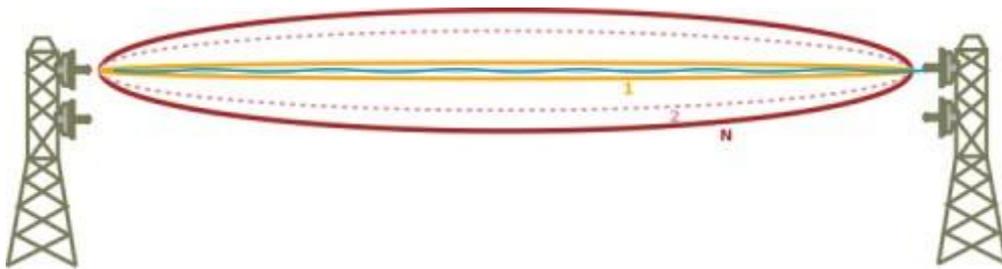


Figura 3.4 – Topologia típica de transmissão ponto a ponto via enlace de rádio. Fonte: (SILVA, 2010)

3.2.2 Comutação (CX)

Esta área é responsável pela comutação determinística de canais de voz de forma a permitir a comunicação telefônica entre os clientes da rede de telefonia fixa e móvel. Realizam testes e interagem com as equipes de campo para verificação dos defeitos a partir de plataformas de O&M centralizadas, além de interagir com os clientes para solução de problemas pontuais como erros de discagem, tratamento e encaminhamento de chamadas telefônicas na rede.

A Figura 3.5 apresenta a hierarquia dos equipamentos de comutação na estrutura da rede de forma a obter redundância e diversificação de meios capaz de garantir o atendimento do tráfego telefônico.

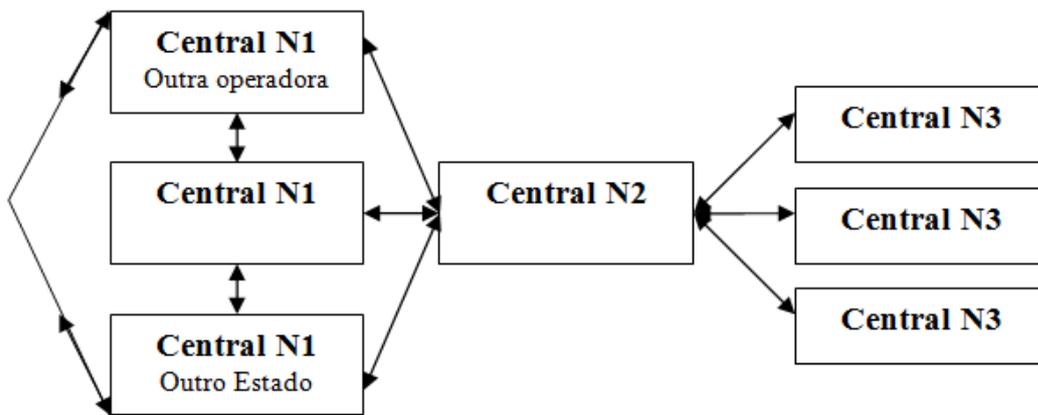


Figura 3.5 – Hierarquia da rede de comutação telefônica de voz.

As conexões de comunicação entre os níveis da Figura 3.5 são fornecidas pelos meios atendidos pela técnica de TX, anteriormente apresentada. As centrais Nível 1 (N1) estão na parte mais alta da hierarquia, enquanto as Nível 3 (N3) na mais baixa. As conexões são bidirecionais, permitindo a origem e a terminação das chamadas em qualquer sentido, otimizando os meios de conexão. Por fim, esse tipo de configuração pode ser aplicada tanto na rede fixa quanto na móvel, sendo que nesta as centrais N3 seriam as BTSs (*Base Transceiver Station*) que conectam os aparelhos móveis dos usuários, enquanto na rede fixa são as centrais locais que conectam a rede de fios que leva até o telefone do usuário.

Para a telefonia fixa as centrais Nível 2 (N2) são equipamentos de grande porte que atendem regiões específicas, direcionando o tráfego de interesse local e regional. Na telefonia móvel, por sua vez, essa analogia pode ser aplicada às BSCs (*Base Station Controller*) que concentram o tráfego gerado nas BTSs.

As centrais N1 são responsáveis por concentrar o tráfego de um Estado ou país e realizar a conexão com outras operadoras. Também são chamadas de *gateways*. Na rede móvel, são chamadas de *Mobile Switching System (MSC)*.

A rede lógica para comunicação e autoconfiguração dos elementos das redes fixa e móvel não é abordada nesse estudo, mas formam redes paralelas para agregar serviços e funções com configurações específicas, mais voltadas à comunicação de dados.

3.2.3 Energia (EN)

Esta área é responsável pelo atendimento de toda estrutura de alimentação e aterramento, presente nas estações. Conforme argumentado anteriormente a estrutura de telecomunicações depende de fornecimento ininterrupto de energia e, da segurança e imunidade eletromagnética, portanto, de um bom sistema de aterramento.

Devido à forte incidência de descargas atmosféricas na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (INPE/ELAT, 2013) os cuidados com aterramento, modelo TT, são muito importantes, pois qualquer equipamento que não esteja corretamente interligado pode sofrer danos durante esse tipo de evento ou apresentar riscos de descarga elétrica aos usuários do sistema telefônico e técnicos de manutenção.

A Figura 3.6, adaptada da Figura 3.1, reapresenta a estrutura de cada estação, onde a equipe de O&M da área de EN atua de forma preventiva e corretiva.

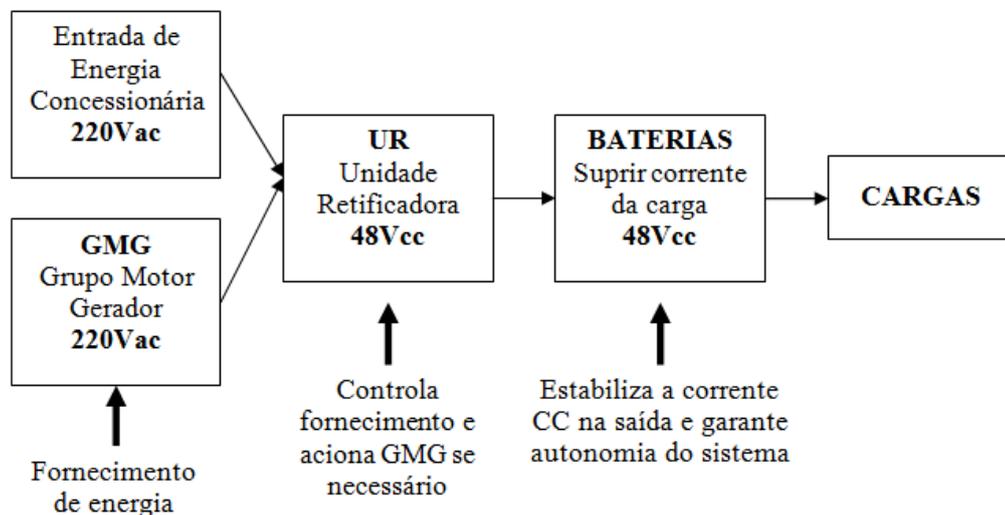


Figura 3.6 – Esquema da alimentação dos equipamentos de telecomunicações.

Assim, os sistemas desta área técnica estão diretamente envolvidos na nova estrutura com microgeração de energia, pois será, provavelmente, mais uma tarefa a ser agregada para essa equipe de manutenção.

3.2.4 Climatização (AR)

Esta área é responsável pela manutenção da refrigeração dos equipamentos. Devido ao funcionamento contínuo, em ambiente fechado e com acesso controlado, todo calor gerado fica confinado na estação. Com isso, a temperatura do local tende a elevar-se rapidamente, prejudicando a prestação dos serviços e danificando ou diminuindo a vida útil dos equipamentos por superaquecimento.

Nesta área técnica existem inúmeros dispositivos de controle e automação dos serviços, tais como:

- controlador de aparelhos de ar de janela, invertendo o funcionamento de cada aparelho conforme a necessidade;
- inversores de frequência para dar partida em compressores de maior porte;
- medidores de temperatura para sinalizar alarmes e acionar a refrigeração;
- telemidas de temperatura que enviam a informação de forma instantânea para sistemas de monitoração via web, painéis de sinalização e controle, etc.

3.2.5 Comunicação de Dados (CD)

Esta área é responsável pelo atendimento dos equipamentos que prestam o Serviço de Comunicação Multimídia (SCM) (ANATEL, 2010) e equipamentos de CD que conectam grandes clientes na rede internet ou fornecem o acesso para provedores de SCM.

Nessa estrutura o serviço de CD geralmente é formado por plataformas de maior capacidade, enquanto o SCM é composto, basicamente, de equipamentos de *Asymmetric Digital Subscriber Line* (ADSL) interconectados pelo primeiro. O prestador de serviço com licença para SCM é normalmente chamado de provedor de acesso, onde se incluem todos os provedores de banda larga (ANATEL, 2011). As operadoras de telefonia possuem as duas licenças, atuando tanto como provedores, quanto como fornecedores de banda.

A topologia de rede desta área, geralmente opta por ter diversidade de caminhos e uma hierarquia bem definida, para sua proteção. Mas, em casos de um servidor central ou principal, há duplicidade nos equipamentos que concentram o tráfego de dados, ou seja, há um ativo e outro reserva com todas as configurações do ativo. Assim, em caso de falha no primeiro, o sistema comuta todos os serviços para o segundo de forma automática, evitando que os clientes percam a comunicação.

As conexões entre os elementos dependem da distância entre eles. Em casos onde estão na mesma sala, os equipamentos são conectados por cordões de fibra ótica ou cabos *Unshielded Twisted Pair* (UTP) de categoria 6 ou 7 (TANENBAUM; WETHERERALL, 2004) de acordo com a velocidade requerida. Para equipamentos distantes, em estações diferentes ou prédios muito grandes, o sistema usa os equipamentos da transmissão para que as informações trafeguem entre os elementos da rede.

3.2.6 Telefonia Móvel (GSM)

Esta área é responsável pelo atendimento das BTSs do Serviço Móvel Pessoal (SMP) (ANATEL, 2010) ou *Group Special Mobile* (GSM) como é mais conhecido. No entanto, a nomenclatura correta é SMP, pois GSM é um tipo de tecnologia usada na comunicação.

A equipe desta área mantém todo o sistema que provê acesso ou conexão aos usuários com telefones móveis, voz e dados, e às plataformas de gerenciamento dos serviços para verificação do estado de funcionamento, configurações e manutenção.

Assim, embora existam equipamentos que dividam o tratamento de voz e dados nas plataformas de maior hierarquia do SMP, em nível de conexão o equipamento é o mesmo, tendo apenas blocos adicionados ou retirados de acordo com as demandas de serviços a serem fornecidas na estação local.

3.3 A estrutura geral das estações do sistema brasileiro de telecomunicações

Pelo apresentado, pode-se perceber que para conseguir prestar adequadamente o serviço de telecomunicações é necessário que várias atividades ocorram paralelamente, o que caracteriza esta área da Engenharia Elétrica como multidisciplinar. Assim, as operadoras devem possuir várias equipes de manutenção e implantação de sistemas capazes de suprir as necessidades instantâneas e realizar o planejamento de médio e longo prazo.

Com a privatização do sistema brasileiro de telecomunicações, quaisquer iniciativas que visem alterar ou agregar algum equipamento ou serviço ao processo devem estar claramente focadas no tipo e no quantitativo de retorno que a empresa terá.

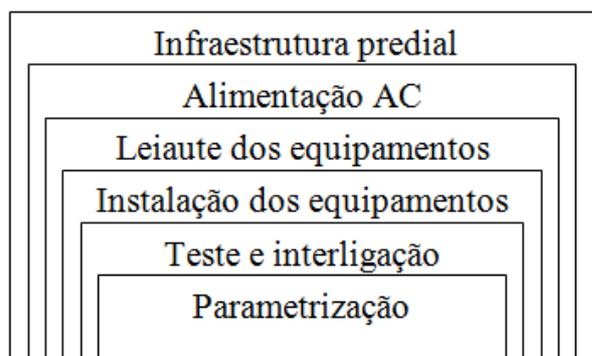


Figura 3.7 – Diagrama em blocos para ativação de uma estação de telecomunicações. Fonte: (RODRIGUES et al, 2013)

Dessa forma, a proposta deste trabalho baseia-se na tentativa de utilizar a infraestrutura predial e a alimentação AC existentes, os dois primeiros pontos da Figura 3.7, para a instalação da microgeração de energia com fonte fotovoltaica. Nesta figura é apresentado o diagrama básico de implantação e interligação de uma estação de telecomunicações no sistema telefônico brasileiro.

3.3.1 O sistema de alimentação das estações de telecomunicações

Recuperando as informações anteriormente apresentadas, o sistema brasileiro de telecomunicações possui tensão de alimentação em corrente contínua

de 48 V. Assim, podem-se utilizar células solares capazes de gerar nesta tensão, aproveitando o sistema instalado de acumuladores e controle de carga. Assim, a Figura 2.1 apresentada no capítulo anterior mostra a adaptação do bloco de microgeração na estrutura típica da Figura 3.6 e incluir a interligação ao sistema de distribuição de energia elétrica de acordo com a potência instalada na microcentral geradora de energia elétrica.

Os sistemas de alimentação tipicamente implantados nas estações possuem a estrutura apresentada e cada ponto tem uma função específica no conjunto. A seguir são definidos os grupos para as estações de pequeno porte.

- **Entrada de energia** – conforme norma de ligação de baixa tensão das concessionárias de energia do RS (AES, CEEE, RGE, 2012) deve obedecer às regras para ligações monofásicas de BT com carga instalada até 75 kW.
- **Unidades Retificadoras** – são fontes chaveadas e apresentam características de comunicação que permitem inúmeros ajustes nas tensões de alimentação, tensão e corrente de carga e flutuação, além da saída retificada, o que acabou dispensando os conversores de tensão nesse tipo de estação.
- **Conversores** – equipamentos instalados em paralelo com saída da fonte de corrente contínua para aumentar a tensão de alimentação de 48 V para 52 V ou mais de forma a fornecer a tensão de carga para as baterias instaladas na estação.
- **Bancos de baterias** – baterias de 1,2, 2 ou 12 V alocadas em série até formar a tensão de 48 V. Servem como fornecimento emergencial de energia e também para fornecer estabilidade à tensão de saída da fonte.

Considerações Finais

A estrutura típica de uma pequena estação de telecomunicações foi apresentada tecnicamente neste capítulo. Assim, o contexto do sistema pode ser melhor entendido para adequar a microgeração de energia com fonte fotovoltaica.

No próximo capítulo é apresentada a metodologia de cálculo para desenvolvimento matemático das análises necessárias à implementação do sistema e viabilização financeira do mesmo.

4 CONDIÇÕES GERAIS PARA A MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA NAS TELECOMUNICAÇÕES

Para que um sistema de microgeração fotovoltaica seja efetivamente aplicado nas estações de telecomunicações é necessário conhecer os equipamentos adicionais a implantar, uma estimativa de custo e retorno financeiro, *payback*, desta operação e como identificar o momento em que essa prática trará benefícios para o empreendedor.

Este estudo deve ser uma aplicação da teoria de *Smart Grid*, com capacidade de automação da microgeração de energia elétrica e habilidade para discernir os melhores momentos para a entrega da energia adicional à rede da distribuidora ou períodos de alto valor da energia externa, priorizando o aproveitamento local.

Para atender às expectativas citadas é necessário:

- Conhecer dados sobre os painéis e demais equipamentos adicionais a utilizar, identificando custo e características técnicas.
- Apurar os custos da energia na região em análise.
- Montar uma estrutura matematicamente ordenada que facilite ao empreendedor identificar o retorno de seu investimento.

Os sistemas de geração de energia a partir de painéis fotovoltaicos vêm se tornando uma realidade em vários países do mundo, conforme apresentado nos Capítulos 2 e 3. Com isso, o cenário de grandes centros está se adaptando para essa nova realidade. Em breve, as áreas livres e expostas à irradiação solar deverão ser cobertas por painéis, pois como mencionado em capítulo anterior, segundo Farret (2010), não aproveitar a energia renovável disponível é desperdiçá-la totalmente.

Baseando-se nesse conceito, buscou-se viabilizar a instalação de uma rede de microgeração distribuída, pois, dessa forma, pode ser analisada como uma fonte única que agregará uma quantidade de energia razoável na rede de distribuição de energia elétrica em BT.

O sistema de telecomunicações, por sua vez, está presente em todas as localidades do Brasil e, como servirá de base para o projeto proposto de

microgeração a partir da fonte fotovoltaica, pode ter toda sua estrutura aplicada a este processo, no futuro.

Existem várias características comuns entre um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaico e os equipamentos de telecomunicações, conforme apresentado anteriormente: corrente contínua, bancos de baterias e controle de carga e descarga. Dessa forma, o custo total para instalação destas microcentrais diminui e concentra-se na medição do fluxo bidirecional de energia, painéis, inversor e requisitos de proteção.

4.1 Prédios para implantação do sistema

O foco deste estudo está nas pequenas estações de telecomunicações. Esses prédios possuem formatos padronizados de acordo com a capacidade necessária para atendimento da prestação do serviço local. A Figura 4.1 apresenta uma dessas estruturas onde será realizado o estudo. A área base disponível é 35 m².



Figura 4.1 – Modelo de prédio padronizado onde será baseado o estudo.

A escolha deste tipo de construção deve-se ao fato deste formato de prédio estar presente na maioria das localidades do Rio Grande do Sul e, por conseguinte, na área que compõe o Noroeste do Estado, onde será proposta a implantação deste sistema de geração de energia elétrica. São 141 estações de telecomunicações nesta área específica. Desse total, são 83 que apresentam as características que foram estudadas para a instalação do sistema de microgeração fotovoltaica: localização geográfica, área útil, estrutura do prédio e consumo de energia. As

outras 58 estações são compostas por armários de rua e centrais de maior porte. No entanto, ao realizar o dimensionamento para um tipo de prédio, se pode utilizar a mesma analogia para os demais.

A Equação (4.1) mostra o objetivo da rede de microgeração de energia elétrica na região. O dimensionamento de cada ponto é dado por:

$$\frac{n1}{1} energia[kWh] + \frac{n2}{1} energia[kWh] + \frac{n3}{1} energia kWh = rede[kWh] \quad (4.1)$$

Onde:

$n1$ – Número de prédios com a estrutura 1

$n2$ – Número de prédios com a estrutura 2

$n3$ – Número de prédios com a estrutura 3

Dessa forma, a energia desta rede é composta pela capacidade de geração de cada modelo de prédio, de acordo com sua estrutura disponível para instalar a geração fotovoltaica.

4.1.1 Localização geográfica dos prédios

A infraestrutura predial desta região está localizada no Noroeste do RS. Essa área apresenta a seguinte localização geográfica, conforme a Figura 4.2.

Os limites extremos a serem considerados para estudo compreendem:

- Ao Norte, a fronteira com SC até o município de Alpestre.
- Ao Sul, os municípios de Joia, Bossoroca e Itacurubi.
- Ao Oeste, a fronteira com a Argentina.
- Ao Leste, os municípios de Salto do Jacuí, Saldanha Marinho, Novo Barreiro, Cerro Grande, Novo Tiradentes, Rodeio Bonito, Ametista do Sul e Alpestre.



Figura 4.2 – Área geográfica a ser analisada. Fonte: Adaptado (GOOGLE MAPS, 2013).

Esta região representa um perfil geográfico bem caracterizado quanto aos aspectos importantes da geração fotovoltaica, que são: temperatura, irradiação e clima.

4.1.2 Área útil no telhado dos prédios

O telhado destes prédios é composto por alvenaria, o que deverá suportar os painéis a serem utilizados, conforme Equação (4.2) (FEGHALI, 1974).

$$P = \frac{F}{A} \quad (4.2)$$

Onde:

P – Pressão

F – Força

A – Área

Ou seja, para um painel com um peso de 15 kg (BP SOLAR, 2010) distribuídos em 1,25 m², usando a Equação (4.2), vem: $P = \frac{F}{A} = \frac{15}{1,25} = 0,12 \text{ kg/cm}^2$. Assim, ocorre uma pressão de 0,12 kg/cm², distribuída em toda área do painel.

Mas, como geralmente o suporte que sustenta o painel tem, pelo menos, 8 pontos de apoio pode-se calcular, pela Equação (4.2): $P = \frac{F}{A} = \frac{15}{8} = 1,875 \text{ kg/cm}^2$.

Por outro lado, se a sustentação for realizada por 4 placas com $63,8 \text{ cm}^2$ de área, também disponíveis com os painéis a utilizar, vem: $P = \frac{F}{A} = \frac{15}{4 \cdot 63,8} = 0,06 \text{ kg/cm}^2$.

A Figura 4.3 apresenta a estrutura inferior de fixação do painel escolhido de acordo com as equações apresentadas.

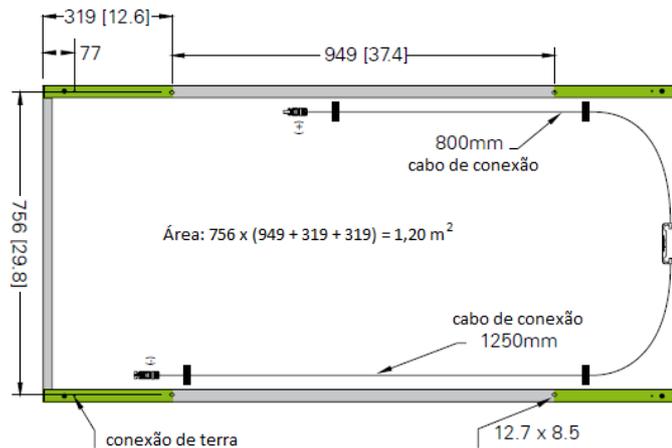


Figura 4.3 – Estrutura de fixação do painel a ser utilizado. Fonte: (BP SOLAR, 2010).

Da mesma forma, para efetuar a manutenção do telhado, um homem exerce uma pressão sobre a estrutura abaixo de seus pés. Conforme a Equação (4.2), se este homem pesar 70 kg e possuir pés com área de 100 cm^2 , aproximadamente (20 cm X 5 cm), exerceria uma pressão de $0,35 \text{ kg/cm}^2$, no mínimo, ao estar ereto sobre o telhado entre os dois pés: $P = \frac{F}{A} = \frac{70}{20 \cdot 5 \cdot 2} = 0,35 \text{ kg/cm}^2$.

Com isso, se pode verificar que a pressão exercida pelos módulos fotovoltaicos é bem inferior e, portanto, não deverá afetar a estrutura existente, visto que as vistorias de telhado são, pelo menos, semestrais nesse tipo de prédio.

O telhado possui uma inclinação em torno de 25° , que torna a área útil um pouco maior, pois é dividido ao meio em dois sentidos para vazão das águas pluviais. Assim, os 35 m^2 de área (5 m x 7m) são distribuídos conforme a Figura 4.4 apresenta.

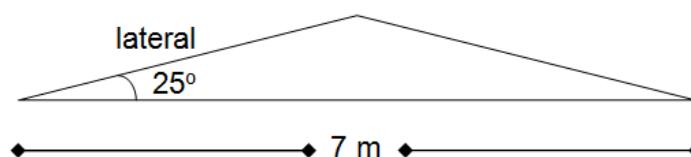


Figura 4.4 – Vista lateral do telhado do prédio analisado.

Com base na Figura 4.4, a lateral resulta em $3,86\text{ m}$ a partir da aplicação do conceito do cosseno trigonométrico: $\cos 25^\circ = \frac{3,5}{lateral} \rightarrow lateral = 3,86\text{ m}$. Dessa forma, a área superior disponível para utilização: $A = lateral * frente = 38,6\text{ m}^2$.

Para efeito de cálculo e projeto do sistema fotovoltaico utilizou apenas os 35 m^2 iniciais. Os demais $3,6\text{ m}^2$ ficaram para instalação de acessórios, interligações e acesso ao local pelos técnicos. Se necessário, para um melhor aproveitamento da luz solar incidente, se pode instalar suporte elevado nas laterais inferiores para manter os painéis no melhor ângulo de inclinação para a área que, conforme a latitude informada na Figura 2.5, é de 30° .

4.2 Painéis Solares

Existem estudos no Brasil com vistas a fabricar painéis fotovoltaicos (CÔRTEZ, 2012). A empresa Tecnometal Energia Solar, com sede em Minas Gerais e fábrica em Campinas, aprovou em 2012 uma verba de R\$ 12,86 milhões junto ao Banco Nacional de Desenvolvimento Social (BNDES) para estabelecer a parceria entre a Universidade de Campinas (UNICAMP) e sua estrutura fabril de forma a manufaturar esses equipamentos (UNICAMP, Inovação, 2012).

Enquanto essa solução não é viabilizada pode-se optar pela importação dessa matéria-prima para implantar a geração fotovoltaica. Com o acréscimo de mais fontes geradoras, a tendência é que a viabilização local da produção aumente e o seu preço diminua.

4.2.1 Custo dos painéis

Conforme estudo realizado pela Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) em seu relatório “Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica do Brasil” (ABINEE LCA, 2012) o custo médio de um painel fotovoltaico produzido na Ásia (exceto Japão) para a Alemanha (maior mercado comprador) varia entre 0,70 e 1,25 Euro/Watt. Ou, pela tabela de junho de 2013, entre 0,93 e 1,66 U\$/Watt. Na média o valor fica em torno de 1 Euro/Watt, ou

1,32 U\$/Watt, em tabela de junho de 2013, para a maioria dos empreendimentos germânicos.

No Brasil, em simulações realizadas, foram encontrados valores desde 2,50 U\$/W até 12,37 U\$/W, incluindo painéis montados no Brasil e comprados diretamente do mercado asiático. Cabe salientar que os preços menores são referentes aos equipamentos completos importados do mercado asiático. Dessa forma, o painel considerado para o projeto foi definido como importado diretamente de fabricante asiático, podendo ser encomendado pela internet.

Para escolher um tipo de painel específico para o projeto, foram tomadas algumas premissas que deveriam ser atendidas.

- Histórico do fabricante.
- Preço em relação aos demais.
- Informações técnicas disponíveis e confiáveis.
- Revenda autorizada no Brasil.

Assim, atendendo todos esses requisitos, é proposto para o projeto um painel que possui um valor de 2,77 U\$/W. Trata-se de um equipamento da BP Solar com potência de 180 W a U\$ 499,00. Algumas informações técnicas são apresentadas nas Figuras 4.5 e 4.6. Outros tipos de painéis apresentam características similares e poderão ser empregados, bastando ajustar os cálculos efetuados.

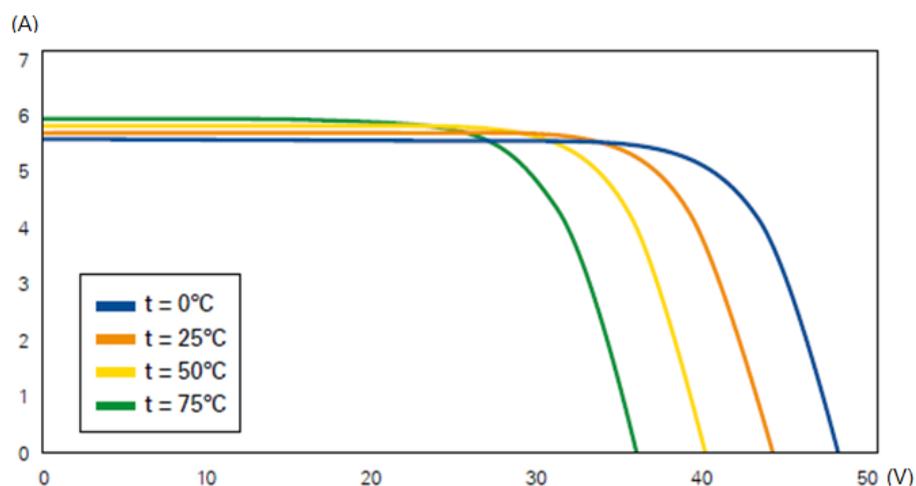


Figura 4.5 – Resposta do painel conforme temperatura. Fonte: fabricante (BP SOLAR, 2010)

Para o modelo proposto, seguem alguns detalhes adicionais.

- Área de aproximadamente 1,25 m² (1,587 m X 0,79 m)
- Peso de 15,4 kg.

- Tensão nominal de 24 V.
- Temperatura de operação normal em geração de 47 °C .

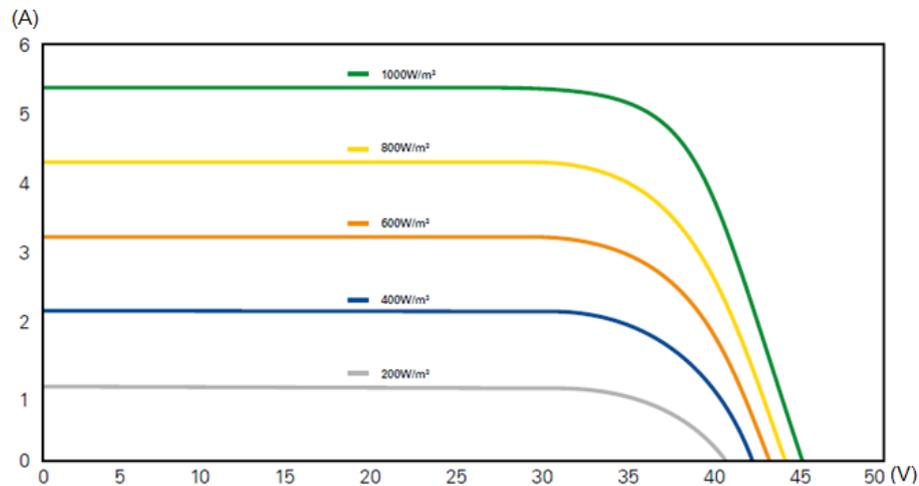


Figura 4.6 – Capacidade de geração de acordo com a irradiação solar. Fonte: (BP SOLAR, 2010)

Com esses dados e a irradiação solar da região de exposição pode-se dimensionar o conjunto da geração fotovoltaica.

4.3 Capacidade de geração no local

Na área disponível de 35 m², há a possibilidade de instalar 28 painéis de 1,25 m². Foi exposto no Capítulo 3 que a região Noroeste do Rio Grande do Sul no Brasil, apresenta uma irradiação anual média de 5 kWh/m² (ANEEL, 2006).

Ao usar o painel selecionado tem-se a possibilidade de implantar uma microgeração com as características apresentadas na Tabela 4.1. Nessa tabela está apresentado um resumo de todas as características solares importantes para essa região, em comparação com os dados do painel fotovoltaico selecionado. Além disso, permite verificar que há um potencial muito bom para a geração fotovoltaica. De acordo com o Atlas Solar Brasileiro (PEREIRA et al, 2006), enquanto o potencial de energia solar, em kWh/m², dos países da Europa oscila entre 0,9 e 1,85 esta região apresenta uma média de 5 kWh/m². No entanto, enquanto lá a geração fotovoltaica atinge o volume dos GW de potência, o Brasil está na faixa dos kW, sendo grande parte experimental ou geração isolada para cargas pontuais (RÜTHER, 2010).

Tabela 4.1 – Dados da microcentral projetada.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Área disponível	35 m ²
Área do painel selecionado	1,25 m ²
Número de painéis na área	28
Irradiação solar instantânea no local	200 W/m ²
Potência máxima de cada painel	180 W
Potência máxima instantânea na área	7 kW
Horas de Sol média por dia nesta área	8
Potência máxima instalada	5,04 kW
Irradiação solar média anual	5 kWh/m ²
Capacidade de geração de energia nesta área	175 kWh
Custo dos 28 painéis para esta área	U\$ 13.972,00

Fonte: Adaptado de (BP SOLAR, 2010), (ANEEL, 2006)

A partir destes dados, podem-se gerar novas constatações. Uma das mais importantes é a categorização do sistema de geração que, neste caso, confirma a premissa inicial de microgeração de energia elétrica (ANEEL, 2012a) por apresentar capacidade instalada inferior aos 100 kW de potência.

4.4 Acessórios para o sistema de microgeração

Conforme apresentado nos capítulos anteriores o sistema de telecomunicações possui itens importantes para a geração fotovoltaica: banco de baterias, controlador de carga e descarga e dimensionamento dos acumuladores para autonomia de pelo menos 8 horas.

No entanto, ainda existe um acessório importante que deve ser adequadamente dimensionado para esse sistema de microgeração: o inversor. Demais acessórios de interligação na rede elétrica em BT são formados pela: adaptação para medição do fluxo bidirecional de energia e as condições de proteção exigidas pela concessionária local.

O custo desta ligação deve ser por conta do empreendedor (ANEEL, 2012a), mas ele não é computado nesse momento por tratar-se de obra adicional, após a implantação da geração local, ao solicitar a interligação com a rede de distribuição

de energia elétrica. Se existirem recursos de comunicação e gerência centralizada, esse custo é arcado pela empresa concessionária ou permissionária do sistema elétrico de distribuição local.

4.4.1 Inversor CC–CA

O inversor CC-CA pode significar um ganho considerável na estação de telecomunicações ao aproveitar a energia CC da microgeração fotovoltaica, diminuindo o consumo ou fornecendo à rede de distribuição. No entanto, para que isso ocorra efetivamente existe a necessidade de implantar inteligência no sistema de forma a torná-lo autônomo e capaz de interpretar o melhor momento para: armazenar energia, fornecer energia à rede de distribuição ou alimentar os equipamentos de refrigeração do local.

O inversor, também conhecido como no-break ou *Uninterruptible Power Supply* (UPS), é um equipamento que transforma um sinal elétrico de corrente contínua em corrente alternada. Para o caso proposto busca-se um inversor que converta a tensão de 48 V, corrente contínua, em 220 V eficaz, em corrente alternada, de forma a interligar a fonte geradora no sistema de distribuição de energia elétrica de BT.

O painel anteriormente proposto para esta aplicação possui tensão nominal recomendada de 24 V, em corrente contínua. Assim, a Figura 4.7 apresenta o esquema de ligação que poderá ser utilizado para adequar a tensão para a alimentação dos sistemas de telecomunicações, que utilizam 48 V. A estrutura pode ter inúmeros painéis agregados em paralelo de forma a aumentar a potência instalada.

A partir do esquema de ligação exemplo, Figura 4.7, onde a tensão dos painéis forma 48 V em corrente contínua, pode-se implantar, posteriormente, um inversor de tensão CC-CA para interligar à rede elétrica da distribuidora, que deve fornecer o parecer de acesso em até 30 dias, após a solicitação. Quaisquer pendências apontadas no retorno para o empreendedor de energia dão a ele 60 dias para resolver e reencaminhar a solicitação de acesso à rede elétrica em BT, conforme Módulo 3 do PRODIST (ANEEL, 2012f).

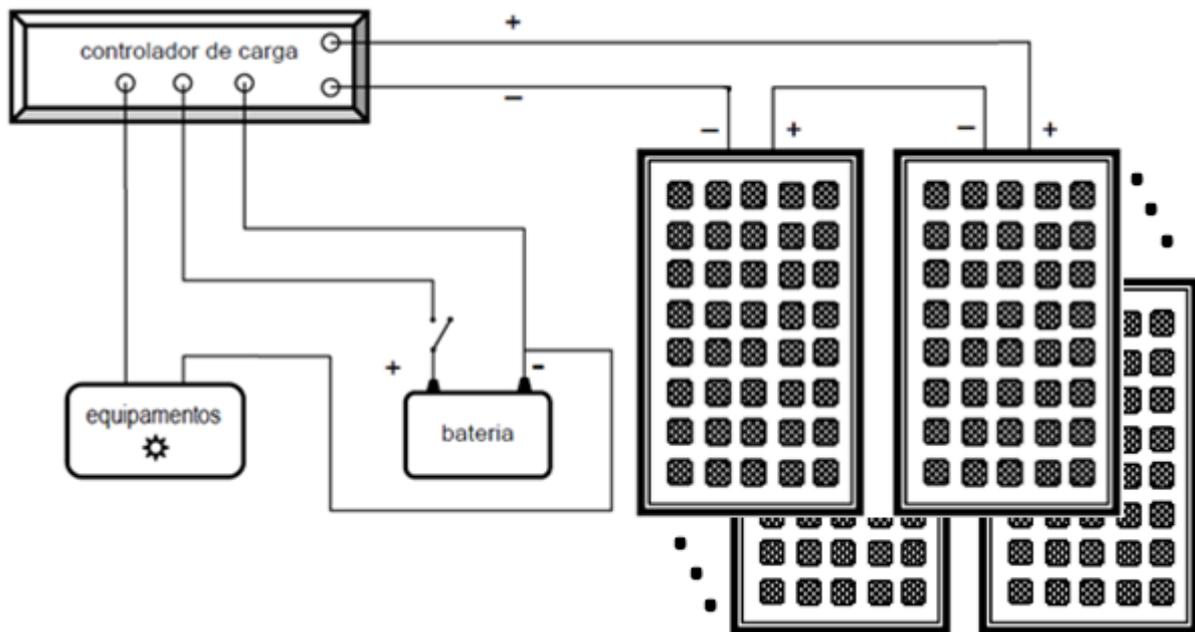


Figura 4.7 – Esquema de ligação dos painéis para formar 48 V. Adaptado de (FARRET, 2010).

Por isso o inversor é tão importante para o processo e, para uma potência em torno de 1000 W o custo está em R\$ 500,00 diretamente do fornecedor através da internet. No entanto, esse tipo de equipamento pode apresentar fator de potência inadequado para a interligação na rede de distribuição, além de frequência incorreta e poucos ajustes de precisão para tal aplicação. Dessa forma, conforme Silva (2007), muitas vezes é conveniente projetar o equipamento de acordo com cada projeto, de forma a obter o melhor aproveitamento energético do conjunto, podendo atingir rendimento superior a 96% na inversão CC-CA. No entanto, ainda deve ser considerado o rendimento do conversor associado que pode variar de 80 a 90%. Ao final, se pode obter um rendimento típico entre 75 e 90%.

Dessa forma, há uma lacuna a ser preenchida por um inversor adequadamente projetado para o sistema aqui proposto, que englobe inteligência e comunicação capazes de gerenciar o seu controle de forma remota. Será estimado um custo de 0,50 R\$/W ou R\$ 500,00 para 1 kW de potência do inversor. Assim, para o caso proposto de 5,04 kW de potência instalada, o valor aproximado seria de R\$ 2.520,00 ou, aproximadamente, U\$ 5.000,00.

4.5 Custo aproximado do sistema de geração fotovoltaico

A Tabela 4.2 apresenta os valores de dimensionamento para o sistema proposto, sem considerar a adaptação da medição para interligação do sistema na rede de distribuição de energia elétrica em BT. A conversão de R\$ para U\$ foi considerada em 2 R\$ = 1 U\$, como em abril de 2013.

Tabela 4.2 – Valores de dimensionamento da geração fotovoltaica proposta.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Capacidade de geração de energia elétrica	175 kWh
Custo dos 28 painéis para esta área	U\$ 13.972,00
Fixação e instalação dos acessórios	U\$ 1.200,00
Inversor CC-CA	U\$ 5000,00
Documentação	U\$ 28,00
Custo Total Inicial	U\$ 20.200,00

Esta tabela resume um custo básico calculado sobre as necessidades anteriormente descritas. Percebe-se que o maior custo envolvido vem do número de painéis instalados, correspondendo a 69% do total. Por outro lado, a maior vida útil pertence a estes elementos, o que traz o seu custo de operação para 698,60 U\$/ano. O inversor, por exemplo, tem um custo de operação em vida útil, de 1.000,00 U\$/ano, considerando-se a garantia do fabricante em 5 anos.

Esse valor tende a diminuir se o projeto for consolidado para uma rede de microcentrais geradoras de energia elétrica. Além disso, com a implantação da Tarifa Horária diferenciada (ANEEL, 2012e), mais conhecida como Tarifa Branca, o sistema de compensação de energia elétrica deve vir a acarretar valores diferenciados para a geração distribuída a partir de fontes renováveis, conforme os horários de fornecimento ou necessidades do sistema a partir do maior custo de geração centralizada, que afeta a tarifa de distribuição ao consumidor.

4.6 Gasto com energia para sistemas comerciais de telecomunicações em BT

Um fator importante para ser analisado é o consumo de energia adquirida junto à distribuidora local. De acordo com a ANEEL (2012b) o consumo médio mensal de energia para a Classe Comercial, Serviços e outras para o Brasil em 2012 foi de 1208,8 kWh/mês. Esse valor difere ao apresentado em Rodrigues et al (2012), “Smart Grid e Geração Distribuída com Pequenas Fontes Renováveis de Energia Aplicada nas Telecomunicações – Estudo de Viabilidade” que considerou o consumo de uma estação de telecomunicações da área específica do projeto para projetar o custo da implantação da geração autônoma com fonte solar ou eólica, com base apenas na economia de energia gerada. Nesse estudo o consumo médio foi de 1005,92 kWh/mês.

Portanto, o valor médio de consumo de uma estação de telecomunicações, com as características designadas tende a ser mais real, pois o cálculo da ANEEL engloba todos os consumidores que se enquadram nesta classe e este é específico do consumidor em estudo. A partir desse valor específico para as telecomunicações será implementada uma metodologia que poderá ser adequada para qualquer outra área posteriormente.

Como o valor da energia (kWh) pode variar, este trabalho irá focar, no consumo dessas unidades, pois, em média, este tende a ser mais estável ao longo do tempo, a não ser que mude a carga da estação, com um maior número de equipamentos e clientes.

4.6.1 O consumo de energia da estação de pequeno porte de telecomunicações

O consumo médio de energia de uma estação de telecomunicações de pequeno porte, na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, para o período de um ano é 1005,92 kWh/mês, de acordo com a análise histórica da fatura de energia elétrica de uma estação (RODRIGUES; ABAIDE; CANHA, 2012). O Quadro 4.1 apresenta maiores detalhes desta análise e classifica os valores típicos para uma estação em comparação com a temperatura anual.

CLIMA	MÊS	kWh	MÉDIA kWh	DIFERENÇA Quente-Frio
Verão	11	1295	1416	>100%
	12	1274		
	1	1620		
	2	1861		
	3	1235		
	4	1211		
Inverno	5	584	596	
	6	621		
	7	560		
	8	578		
	9	582		
	10	650		

Quadro 4.1 – Consumo de energia de uma estação de telecomunicações de pequeno porte.

Ao iniciar a montagem deste quadro o objetivo era qualificar o consumo por estação climática do ano: verão, outono, inverno e primavera. Porém, não se conseguiu estabelecer diferenças significativas para 4 períodos de consumo anuais. Ao tabelar os valores ficou evidente que existem apenas 2 períodos de consumo bem definidos: um quente e outro frio que serão denominados de verão e inverno, respectivamente. Assim, esta relação também reforça o uso da fonte fotovoltaica, pois apresenta nos períodos de frio sua menor capacidade de geração, enquanto nos quentes tem sua maior incidência de Sol e consequente maior capacidade de transformar energia solar em elétrica.

Pela análise do Quadro 4.1, se pode concluir que um dos principais causadores do aumento de consumo das estações de telecomunicações é a temperatura, de forma proporcional. Com isso, se pode inferir que devido à evolução tecnológica de alguns equipamentos envolvidos na prestação deste serviço, houve diminuição do consumo de energia, exceto para os equipamentos de ar condicionado, onde não ocorreram transformações tão significativas com relação aos demais. Logo, estes que são os mais exigidos nos períodos de elevação na temperatura ambiente.

Dessa forma, a análise do consumo de energia para relacionar com a capacidade de geração do sistema fotovoltaico projetado deve obedecer a esses dois períodos de consumo delineados e que fornecem uma melhor aproximação da

realidade, além de melhorar o rendimento referente à integração do sistema de geração solar e das telecomunicações, configurando mais uma similaridade que aumenta a sinergia desta integração.

4.7 Modelo proposto para analisar sistema de microgeração com fonte fotovoltaica

A partir dos dados apresentados buscou-se criar uma metodologia que fornecesse uma maneira amigável de lidar com os mesmos, verificando os custos envolvidos e a conveniência de implantar um sistema de geração com fonte fotovoltaica.

Como as análises basearam-se numa estrutura prática aplicada a partir da revisão bibliográfica e dados disponíveis, configura-se numa metodologia de solução de problemas que poderá ser replicada de forma a buscar o ponto de convergência onde a viabilidade financeira possa ser alcançada e o *payback*, ou retorno financeiro do projeto, possa ser calculado. Dessa forma, foi montado o fluxograma apresentado na Figura 4.8, com a análise sob os dois aspectos mais importantes: técnico e financeiro.

O aspecto técnico consolida as informações necessárias para a microgeração fotovoltaica, tais como: área disponível, irradiação solar no local, horas de insolação, painéis utilizados, consumo de energia do prédio, capacidade de geração projetada e a implantação do sistema bidirecional de medição. Essas características são analisadas em outro bloco simulando situações pertinentes que permitam verificar a autonomia do projeto, verificação de excedente de energia para venda e interligação com os sistemas de corrente contínua da estação de telecomunicações.

No aspecto financeiro são inseridos os custos gerais: tarifa de energia local (R\$/kWh), painéis, consumo de energia, medição bidirecional, acessórios necessários, operação e manutenção e outros. Esses valores são utilizados em outro estágio para verificar, com o Método Simplex da Programação Linear e conceitos de Engenharia Econômica: custo total do projeto, economia gerada com e sem a venda de energia excedente ou armazenada.

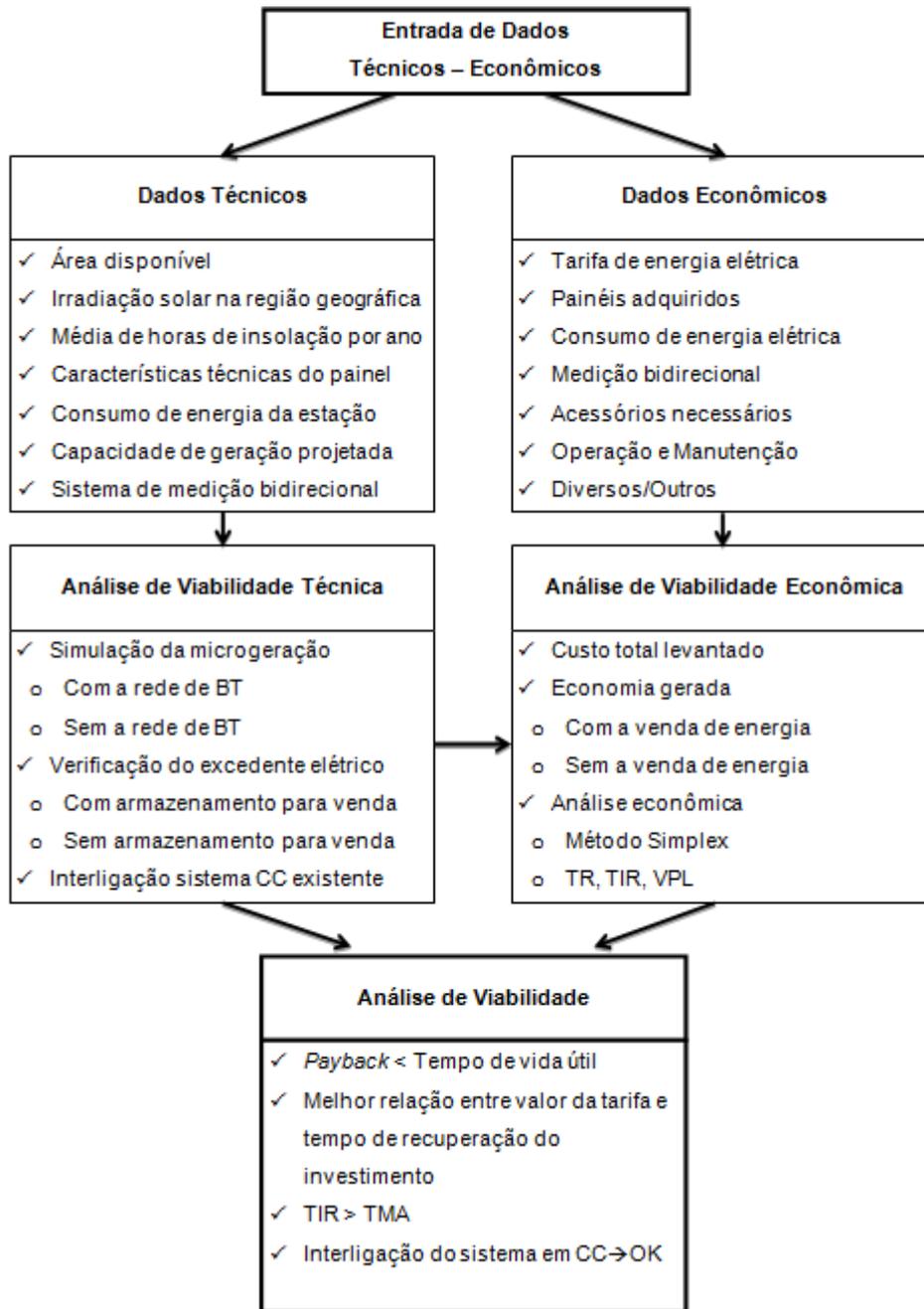


Figura 4.8 – Fluxograma para análise de sistema de microgeração com fonte fotovoltaica (adaptado).
Fonte: (LORA; ADDAD, 2006)

Para concluir a análise, o fluxograma, através das informações de ordem técnica e financeira, oferece resultados para a tomada de decisão pela viabilidade do sistema implantado. Ocorre, assim, a verificação do *payback*, melhor relação entre valor da tarifa e tempo para recuperar o investimento, e a Taxa Interna de Retorno (TIR) para determinar a melhor ação quanto à aplicação financeira proposta.

Considerações finais

Este capítulo buscou elucidar as formas de equacionar as diversas variáveis envolvidas na microgeração com fonte fotovoltaica proposta neste projeto, além de apresentar o fluxograma para avaliar o processo da microgeração com fonte fotovoltaica. De posse deste conhecimento é possível realizar a análise e simulação do possível sistema a implementar, o que será realizado no próximo capítulo.

5 VIABILIZAÇÃO DO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA NAS TELECOMUNICAÇÕES

Ao adicionar funções a um processo em operação e economicamente rentável deve-se levar em consideração o que esse novo sistema irá agregar de valor posteriormente. Além disso, não se deve correr o risco de, porventura, reduzir a rentabilidade do sistema atual. Baseando-se nessas premissas, a microgeração para as estações de telecomunicações deve ser verificada quanto a sua eficácia e capacidade de agregar valor para o sistema.

Nesse sentido e aproveitando as diversas sinergias existentes entre a fonte fotovoltaica e o sistema de telecomunicações, tais como: alimentação em corrente contínua, período de maior geração e consumo coincidentes, bancos de baterias e controlador de carga e descarga existentes, o sistema tem sua viabilidade técnica e financeira facilitadas.

5.1 A viabilidade financeira da microgeração para a alimentação das estações de telecomunicações

A aplicação dos novos modelos propostos pela Resolução 482/2012 da ANEEL para a microgeração pode significar uma nova alternativa para viabilizar o retorno financeiro ao implantar um projeto de microgeração com fontes renováveis.

Para essa análise foi levantada a curva de carga da estação de telecomunicações, de forma a identificar o tipo de consumidor de energia e os melhores momentos para inserir a microgeração no sistema de alimentação dos equipamentos e na rede de distribuição de energia elétrica da concessionária.

5.1.1 A curva de carga das telecomunicações

A curva de carga de um consumidor define como ele consome a energia disponível. Assim, para este caso, analisar o modelo de consumo pode significar um

melhor aproveitamento energético e a definição do melhor ponto para inserção da microgeração na rede da distribuidora.

Durante as décadas de 70 e 80, o serviço fornecido era basicamente telefonia e os equipamentos de telecomunicações eram formados por grandes centrais eletromecânicas e rádios transceptores valvulados ou, alguns poucos, transistorizados. Nesse cenário, havia um forte incremento do consumo de energia nos períodos de pico de ligações telefônicas, ou seja, entre às 9 e 11 horas, 14 e 16 horas e outro pico menor por volta das 21 horas (SIEMENS, 1975).

No horário das 9 às 11 horas, tinha-se o Horário de Maior Movimento (HMM³), da manhã, formado basicamente pelas ligações telefônicas comerciais que congestionavam o sistema telefônico e geravam os maiores picos do dia no tráfego de telefonia e no consumo de energia elétrica. Assim, quando a cobrança da energia elétrica era contratada por demanda, o dimensionamento desta era realizado através da observação desse período horário.

No período das 14 às 15 horas, tinha-se o HMM da tarde, também formado pelo tráfego telefônico gerado para relações comerciais, gerando um novo pico de consumo de energia elétrica, porém menor que o matinal, anteriormente apresentado.

O terceiro horário referenciado para aumentar o tráfego telefônico e, conseqüentemente, o consumo de energia fixava-se após as 21 horas, no período de HMM noturno. Esse horário marcava um pico no consumo de energia menor que os outros, porém significativo. Era gerado pelo tráfego telefônico de longa distância, ou Discagem Direta a Distância (DDD),⁴ residencial e comercial, para aproveitar o momento de troca da tarifa convencional para a tarifa reduzida, propiciando economia aos usuários que desejavam falar ou passar fax, por exemplo.

Atualmente, todos os equipamentos são digitais, consumindo menos energia para funcionar e realizar suas funções. Portanto, o consumo de energia não depende tanto do tráfego gerado no sistema de telefonia, como anteriormente. Para evidenciar esta nova realidade nos serviços de telecomunicações foi levantada em

³ Esses horários são utilizados até hoje para monitorar o tráfego telefônico do sistema pelas operadoras e pelo órgão regulador do setor de telecomunicações – ANATEL.

⁴ Ligações telefônicas entre cidades distantes, fora de uma mesma área local.

campo uma nova curva de carga atualizada para uma estação situada na região em estudo.

Com esses dados podem-se determinar os principais horários para vender ou consumir energia da distribuidora local, determinando uma importante ferramenta para a organização da estrutura energética deste sistema consumidor.

5.1.2 Curva de carga de uma estação de telecomunicações

A Figura 5.1 apresenta a curva levantada, diretamente na entrada de energia, observando intervalos de meia hora entre cada observação.

Pode-se perceber que o consumo é praticamente linear durante todas as 24 horas do dia. Existe um período noturno de baixo consumo e pequenos acréscimos nos períodos de HMM, o que mostra a importância relativa do tráfego telefônico para o consumo de energia do sistema de telecomunicações.

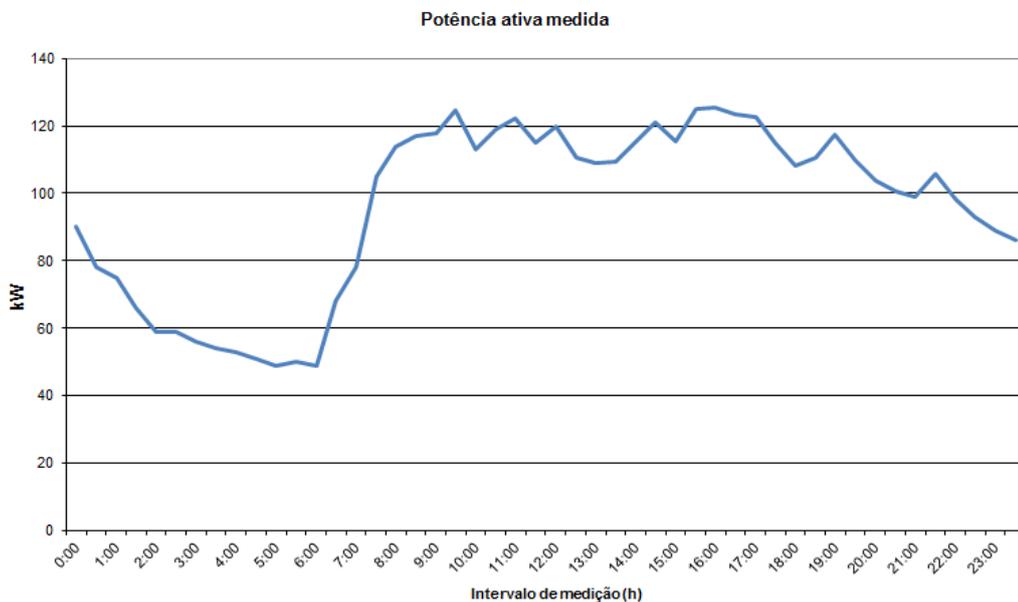


Figura 5.1 – Curva de carga atualizada para uma estação de telecomunicações.

Essa curva foi retirada numa quarta-feira de uma segunda semana do mês. Pelos dados históricos da ANATEL, esse é o melhor período de estabilidade no tráfego telefônico do sistema, entre terça e quinta-feira, desde que sem feriados (TELEBRAS, 1997).

Esse período semanal é o mesmo que a ANATEL realiza a medida do seu indicador mensal chamado de Teste de Discagem Direta a Distância (DDD-X) (ANATEL, 2010), que visa medir a capacidade instalada do sistema telefônico para suportar o tráfego em cada ponto e no todo da rede.

Na análise da curva levantada e apresentada, foram constatadas algumas características que se pode ressaltar: os picos de consumo de energia se mantêm nos períodos citados anteriormente e há um consumo praticamente linear durante todo o horário comercial que diminui após o horário comercial.

5.2 Análise do sistema de microgeração de energia elétrica com fonte fotovoltaica para as estações de pequeno porte de telecomunicações

O sistema brasileiro de telecomunicações deve manter sua operação contínua, ou seja, os 7 dias da semana e às 24 horas do dia. Para isso, as estações de maior porte são equipadas com sistema autônomo de geração de energia constituído de motor diesel dimensionado para suportar toda a carga do prédio, inclusive tomadas e iluminação. Dessa forma, o sistema mantém todas as suas características funcionais, permitindo, inclusive, a operação e manutenção dos equipamentos e, conseqüentemente, do serviço prestado.

A implantação de um sistema alternativo de geração de energia também irá colaborar para que as estações de pequeno porte tenham um suporte energético maior e, conseqüentemente, possuam maior autonomia em caso de perda do fornecimento principal a partir da concessionária de energia elétrica.

Dessa forma, o sistema deve ser configurado para manter os bancos de baterias sempre carregados, dispensando ao máximo o uso da energia elétrica da concessionária. Com esses dois pontos ganha-se ao alimentar o sistema com energia limpa, economiza-se na fatura de energia elétrica e mantém-se a autonomia do sistema diminuindo a dependência de fonte externa, como gerador diesel ou gasolina.

5.2.1 Sistema de microgeração de energia isolado

Conforme apresentado no Capítulo 5 o sistema para uma estação de pequeno porte de telecomunicações terá capacidade de gerar até 175 kWh e para simular esse sistema foi utilizado o software Homer V 2.68 Beta, de uso livre, pois é de ampla aplicação nos sistemas de pequenas centrais para geração de energia elétrica e possui todas as especificidades desse tipo de aplicação incorporadas em suas funções. Além disso, se pode utilizar os dados de insolação da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) para realizar as simulações, o que agiliza o processo e traz mais um ponto de confiabilidade para a pesquisa, além de permitir a comparação com os dados do Atlas Brasileiro Solarimétrico.

A Figura 5.2 apresenta o sistema montado no Homer para simular uma unidade do sistema de microgeração de energia elétrica a partir de fonte fotovoltaica, com interligação na rede de distribuição. A carga da estação foi considerada única e totalmente alimentada pelo barramento de corrente alternada.

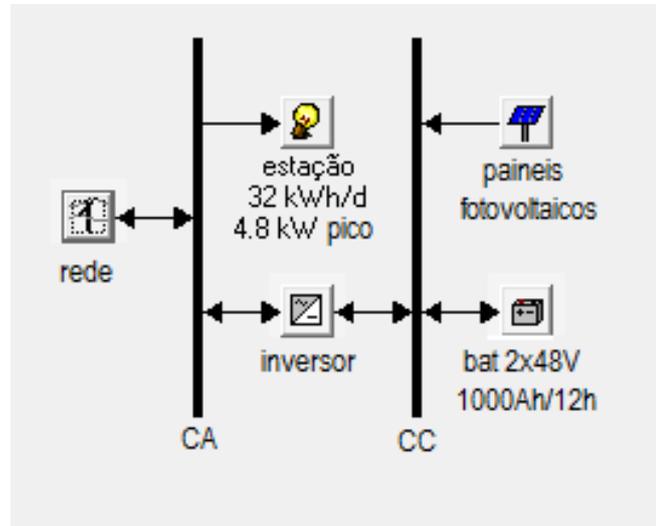


Figura 5.2 – Unidade de microgeração simulada no software Homer.

Para a montagem desse sistema foram considerados os seguintes parâmetros.

a) **Rede** – Rede de Distribuição em BT da concessionária, com capacidade de entregar até 1000 kWh e custo de R\$ 0,57 por kWh consumido no mês de abril de 2013.

b) **Estação** – foi computada a carga anual de uma estação de telecomunicações de pequeno porte (Quadro 4.1), verificando a carga média em período frio e período quente e dividindo por dias do mês para obter a carga diária. Após, foram carregados os dados no programa Homer de forma a ter $\frac{3}{4}$ da carga concentrada no período diurno e $\frac{1}{4}$ no período noturno.

c) **Inversor** – é o inversor instalado com potência especificada de 6 kW, capaz de suprir a geração instantânea efetuada pelos painéis fotovoltaicos.

d) **Painéis Fotovoltaicos** – dimensionados com capacidade de geração especificada anteriormente, no Capítulo 5, de 175 kWh para a área disponível.

e) **Bat 2x48V 1000Ah/12h** – 2 bancos de baterias de 1000 Ah/12h, formando 48 Vcc, já disponíveis na estação.

Foi considerada a média de temperatura informada na Tabela 5.1 a partir de dados apurados pelo Instituto Nacional de Meteorologia na região em estudo, mais especificamente da estação meteorológica de Cruz Alta/RS.

Tabela 5.1 – Temperatura média da região Noroeste do Rio Grande do Sul no ano de 2012.

MÊS	TEMPERATURA MÉDIA °C
Janeiro	24,24
Fevereiro	25,28
Março	22,01
Abril	18,56
Mai	17
Junho	13,87
Julho	11,90
Agosto	17,71
Setembro	17,04
Outubro	19,55
Novembro	22,76
Dezembro	24,19
Média anual	19,51

Fonte: (INMET, 2012)

O Quadro 5.1 apresenta o resumo da capacidade de geração do sistema simulado no software Homer, considerando o uso de pelo menos 50% da energia proveniente da fonte de microgeração fotovoltaica.

COMPONENTE	PRODUÇÃO (kWh/ano)	Fração
Geração fotovoltaica	7736	51%
Rede distribuidora	7313	49%
Total	15049	100%

Quadro 5.1 – Consumo a partir da microgeração fotovoltaica e rede elétrica.
Fonte: software Homer.

5.2.2 Simulação do sistema de microgeração fotovoltaica

Conforme o Quadro 4.1, no período quente uma estação de pequeno porte de telecomunicações, nessa região, necessita, em média, de um aporte de energia equivalente a 1416 kWh/mês. Enquanto no período frio, necessita de 596 kWh/mês. Esses valores foram carregados no software Homer para simular o sistema. Para a simulação com a rede elétrica interligada é necessário arbitrar um percentual de uso obrigatório para a microgeração analisada, de forma a determinar a viabilidade da proposta. Assim, foi estipulado um uso mínimo de 50% da microcentral em estudo, o que gerou os gráficos e tabelas a seguir apresentados.

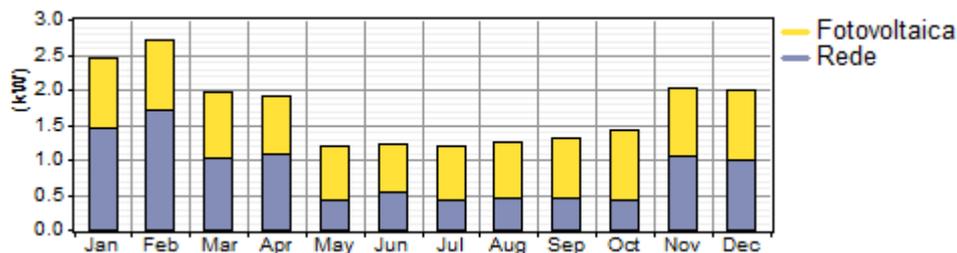


Figura 5.3 – Comparação de uso da rede elétrica e da microgeração local com dados da NASA.
Fonte: Homer

Com isso, para a capacidade de geração alcançada com este sistema, o máximo aproveitamento de energia a partir da fonte fotovoltaica nesta configuração alcançou 51% de energia renovável e 49% de energia proveniente da rede da

distribuidora. Ao aumentar a necessidade de energia da microgeração, existem momentos onde não há capacidade de geração capaz de alcançar o requisito especificado, tornando inviáveis índices maiores que 51%.

A Figura 5.3 mostra o consumo da estação dividido entre a fonte fotovoltaica e a rede mês a mês. Como esta microgeração é influenciada pelas estações do ano e o consumo das estações também acompanha essa influência, há uma percepção clara do que pode ser aproveitado da microcentral com relação à carga estipulada.

5.2.3 Simulação do sistema de microgeração fotovoltaica distribuído

A diferenciação entre uma geração isolada e uma distribuída, conforme Farret (2010), é que enquanto a primeira é única e possui carga individual, a segunda é formada por vários pontos interligados que podem ser considerados uma central geradora maior. Assim, cada unidade individual funciona como unidade secundária de uma rede de geração principal.

Dessa forma, será simulada a capacidade regional de geração de energia elétrica do sistema a partir das estações de pequeno porte de telecomunicações para a região Noroeste do Rio Grande do Sul. Assim serão 83 estações na região com capacidade de geração similar ao projeto proposto, conforme (RODRIGUES et al, 2013), devido às suas características construtivas e posicionamento geográfico.

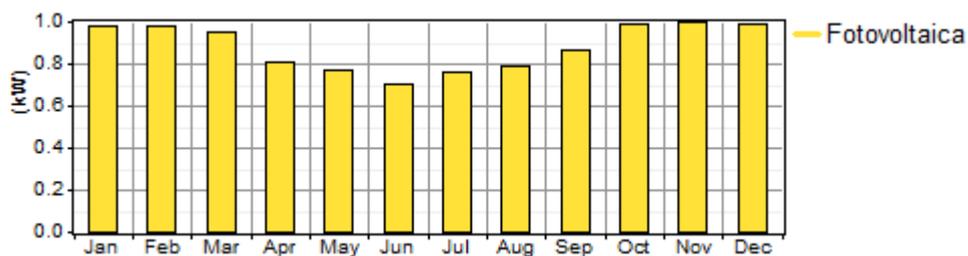


Figura 5.4 – Microgeração isolada de energia elétrica. Fonte: Homer

A Figura 5.4 apresenta o gráfico da simulação da microgeração projetada como se estivesse de forma isolada, ou seja, sem a ligação da rede elétrica da concessionária. Logo, se as 83 estações com microcentrais estiverem gerando ao mesmo tempo pode ocorrer um incremento de cerca de 80 kW de potência instalada na região. Por outro lado, deve ocorrer uma diminuição do consumo de energia das

redes de distribuição de energia nessa região também nessa ordem de grandeza. Esse valor significa cerca de 50% de todo consumo de energia das estações de pequeno porte desta região.

5.2.4 Outros fatores relevantes para a microgeração proposta

Em caso de falta de energia ocorre descarregamento das baterias para sustentar a carga da estação de telecomunicações. Se possuir gerador estacionário essa descarga será parcial, até a nova fonte assumir os consumidores. No entanto, em pequenas estações essa descarga ocorre até o retorno da energia ou até que ocorra a instalação do gerador portátil, de forma manual. Assim, com o sistema de geração fotovoltaica, não é necessário gerar alto consumo de corrente para recarga das baterias a partir da rede da concessionária, usando a energia da microgeração para manter o sistema e recarregar as baterias, de forma controlada.

Além disso, em estações de maior porte a fonte renovável pode ser uma alternativa de energia limpa, que contribuirá constantemente para o suprimento de energia das estações, enquanto os geradores estacionários consomem recursos de manutenção, são poluidores, emitem ruídos, geram riscos à segurança das instalações e pessoas envolvidas na operação e, por fim, não colaboram para um melhor aproveitamento da energia. A Figura 5.5 apresenta a simulação do aproveitamento fotovoltaico para substituição de um GMG estacionário.

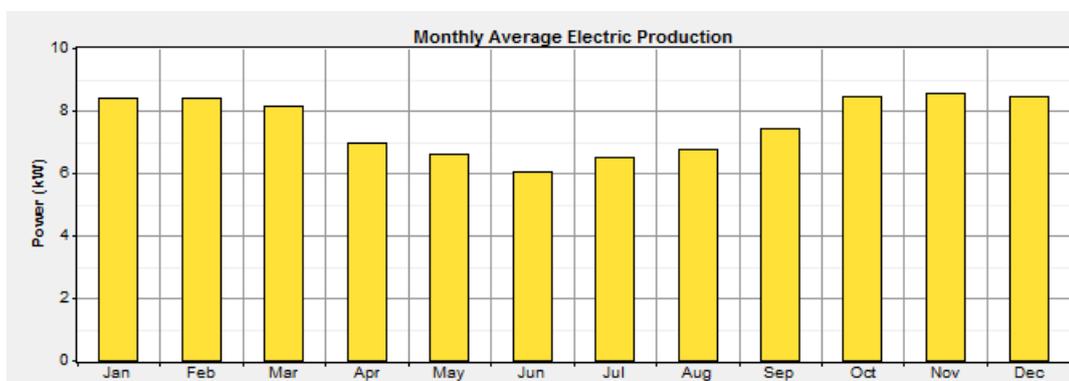


Figura 5.5 – Capacidade de geração de uma estação de médio porte. Fonte: Homer

Um gerador estacionário típico tem potência de 100 kVA, ou 454 A para uma tensão de 220 Vac. Transformando para 48 Vcc, obtém-se uma corrente de cerca de

2 kA a partir desta potência de geração. Esse conjunto de corrente e tensão pode ser alcançado por um conjunto de 695 painéis fotovoltaicos, do modelo apresentado no Capítulo 4, Figura 4.5. Para esse caso, seria necessária uma área de 868,75 m².

Como exemplo a área de um dos prédios técnicos de uma estação de telecomunicações de médio porte na região em estudo é 300 m² (20 m X 15 m). Com essa área é possível uma instalação de 240 placas, com capacidade máxima de 43,2 kW, próximo dos 50% da capacidade do gerador estacionário. Para medir essa capacidade, foi simulado no software Homer esse novo cenário e apresentada na Figura 5.5 a resposta desta microgeração para ilustrar o assunto.

5.3 Demonstração de custo real de painéis fotovoltaicos importados para uma aplicação prática

A aplicação da energia fotovoltaica vem crescendo e o caso apresentado mostra outras vantagens de usar esse tipo de alimentação em sistemas isolados, além de mostrar o custo real embutido no produto pelos impostos.

Neste caso, o custo para agregar a geração fotovoltaica no produto a comercializar era maior que simplesmente continuar usar a energia comercial disponível no local, pois além de mais barata somava uma taxa de instalação ao serviço. No entanto, esses fatores foram suplantados por outras características adicionais da fonte solar para sistemas isolados.

- Maior segurança contra descargas atmosféricas, por dispensar longos cabos de alimentação e de comunicação ao usar *wireless*.
- Apelo ambiental do produto, por usar uma energia renovável.
- Otimização do consumo de energia dos componentes para permitir o mínimo painel de alimentação no conjunto a ser fornecido no produto final.
- Economia de energia para o cliente que não precisará dispor de sua rede para alimentar o equipamento após a instalação.

5.3.1 O custo dos impostos nos painéis utilizados

Para verificar a questão dos impostos, foram buscadas informações junto à empresa a respeito do custo real dos painéis que utiliza. O Quadro 5.2 apresenta os dados mais importantes de uma nota fiscal recente de entrega do material adquirido no exterior, em março de 2013.

PRODUTO	QUANTIDADE	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL	BASE ICMS	VALOR ICMS	ALÍQUOTA ICMS
PAINEL SOLAR 10 W 7 V + 7 V	100	PEÇA	29,9463	2.994,63	4.695,41	798,22	17
PAINEL SOLAR 5 W 7 V + 7 V	300	PEÇA	14,9732	4.491,95	7.043,12	1.197,33	17

Quadro 5.2 – Dados de nota fiscal de compra de painéis fotovoltaicos importados.
Fonte: Nota Fiscal de compra.

O fornecedor está na Ásia e possui um preço médio de R\$ 3,00/Watt para o Brasil, ou 1,37 U\$/Watt aproximadamente. Por esse valor produz o painel de acordo com a solicitação do comprador, ou seja, se pode especificar a tensão, o tamanho e a potência desejada. Dessa forma, se perde um pouco no valor de R\$/Watt, mas se ganha na melhor adaptação do painel à aplicação desejada.

A partir dos dados do Quadro 5.2, é possível extrair algumas outras informações:

- O valor total da compra é R\$ 11.738,53.
- 17% desse valor são de ICMS, ou seja, R\$ 1995,55.
- 8,6% COFINS, equivalem a R\$ 921,66.
- 12% Ad Valorem do imposto de importação equivalem a R\$ 938,85.
- PIS/PASEP incidente em 1,65% equivale a R\$ 176,83.
- A soma desses impostos diretos acarreta 34,36% no valor da compra.

O Quadro 5.3 ilustra, de forma resumida, os dados do Quadro 5.2 e mais alguns valores apurados com o setor contábil da empresa, quanto aos demais impostos e valores devidos no processo de compra deste material.

Além disso, ainda somam-se a esses valores o imposto de importação na tarifa básica de 100% que serve de contrapartida para o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para a produção nacional. Assim, o valor de US\$ 7,40 vai para

R\$ 29,94, ou seja, quadruplica para cada unidade do painel com potência de 5 W e saída de tensão de 7V + 7V, por exemplo.

VALORES FINANCEIROS				IMPOSTOS				
US\$	TOTAL R\$	Quantidade	Base ICMS R\$	ICMS 17%	COFINS 8,6%	Importação 12%	PIS/PASEP 1,65%	TOTAL
7,40	2994,63	100	4695,41	798,22	368,66	375,54	70,73	1613,16
14,80	4491,95	100	7043,12	1197,33	553,00	563,31	106,10	2419,73
22,20	7486,58	200	11738,53	1995,55	921,66	938,85	176,83	4032,89
100%				34,36%				

Quadro 5.3 – Valor real de painéis fotovoltaicos adquiridos pela empresa.

Fonte: Adaptado das notas fiscais de compra.

5.3.2 A redução da carga dos impostos

Os impostos inserem um percentual em torno de 34,36% no valor dos painéis fotovoltaicos importados. O Quadro 5.4 recalcula o valor apresentado no Quadro 5.3, retirando os impostos internos, ou seja, aqueles que incidem após o IPI ou Imposto de Importação.

VALORES FINANCEIROS				VALORES FINANCEIROS SEM IMPOSTOS			
US\$	TOTAL [R\$]	Quantidade	TOTAL FINAL [R\$]	US\$	TOTAL [R\$]	Quantidade	TOTAL FINAL [R\$]
7,40	2994,63	100	4695,41	7,40	2994,63	100	3082,07
14,80	4491,95	100	7043,12	14,80	4491,95	100	4623,10
22,20	7486,58	200	11738,53	22,20	7486,58	200	7705,17
100%				34,36%			

Quadro 5.4 – Valor com e sem impostos para o caso real apresentado.

Fonte: Adaptado de nota fiscal de compra.

Ao observar esse quadro de informações comparativas, se tem uma base de quanto pode ser reduzido o valor dos produtos a partir da carga de impostos incidentes sobre os mesmos.

5.4 Análise do processo de viabilização da microgeração de energia elétrica com fonte fotovoltaica para as telecomunicações

Com base nos dados apresentados até aqui, se pode verificar que há um conjunto de forças que convergem para a implementação prática da solução proposta neste estudo, ou seja, instalar a microgeração com fontes fotovoltaicas em estações de telecomunicações e buscar ganhos maiores com um provável aumento da tarifa nos horários de pico de consumo de energia elétrica e/ou com uma redução dos impostos inseridos no processo.

5.4.1 Otimização do sistema em função da tarifa de energia consumida e tempo de vida útil

A partir dos dados e do fluxograma apresentados, se pode elaborar um equacionamento que evidencie matematicamente o ponto de viabilidade do sistema, apresentado na Equação (5.1). Para isso, foi utilizado o conceito do Método de Otimização Simplex da Programação Linear (KAGAN et al, 2009) para buscar o melhor ponto do sistema a partir de um espaço de soluções pré-definido.

Geralmente, este método é aplicado em casos de maximização, mas esta é uma análise relacional entre o valor economizado de energia e a capacidade produtiva do sistema, onde as restrições são flexíveis. Assim, a condição de otimalidade ocorre sempre que a Equação (5.1) for verdadeira e a interpretação geométrica do problema indica rapidamente essa condição (RODRIGUES; ABAIDE; CANHA, 2012), conforme ilustra a Figura 5.6.

$$a * x + b * y \geq c \quad (5.1)$$

Nesta equação, os fatores a , b e c são provenientes dos dados da instalação e significam:

a – é a capacidade produtiva anual para a instalação projetada, dado em kWh/ano, adquirida do software Homer.

b – é o custo anual da instalação projetada, alcançado a partir do valor total do projeto dividido pelos anos de vida útil, em valor monetário.

c – é o custo total da instalação projetada, em valor monetário.

Os valores de x e y , por sua vez, representam a tarifa de energia em R\$/kWh e o tempo em anos, respectivamente.

Basicamente, nessa análise, foi considerada uma vida útil de 20 anos para os painéis, embora alguns autores como Fukurosaki (2011) mencione 30 anos. Para este trabalho, foi considerado o período de 20 anos para dividir o custo da instalação. Mas durante essa operação ocorre a economia de energia consumida. Assim, foi usada a Equação (5.1) para montar uma resposta em função dos parâmetros de tempo e valor da tarifa de energia, ou seja, se procurou avaliar em quanto tempo uma determinada tarifa leva ao pagamento do custo de instalação do projeto, onde o recíproco também é verdadeiro. Dessa forma, se obteve o gráfico da Figura 5.6, mostrando que acima da reta limite (área em azul) existe uma região viável em qualquer ponto.

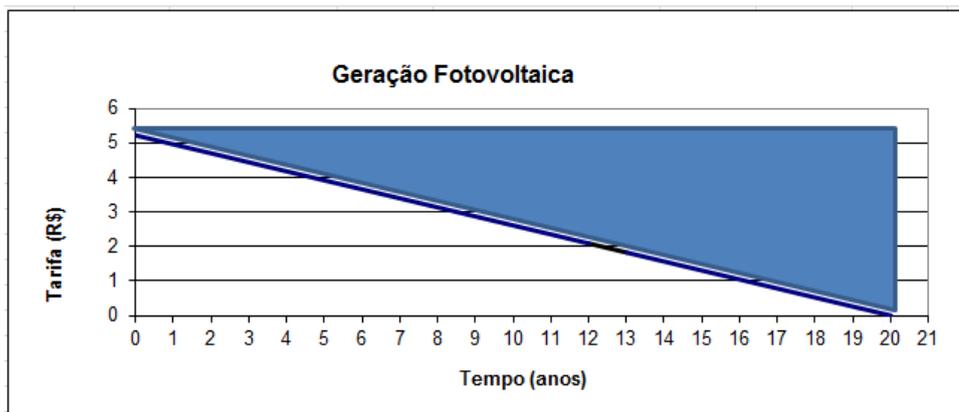


Figura 5.6 – Pontos de convergência entre a tarifa e o tempo para retorno do investimento. Fonte: (RODRIGUES; ABAIDE; CANHA, 2012).

A área marcada acima da reta principal sinaliza a região onde o sistema é viável economicamente a partir de uma determinada tarifa. A projeção gráfica da Figura 5.6 considera o tempo variando de 0 a 20 anos e calcula a tarifa isoladamente como apresenta a Equação (5.2).

$$x \geq (c - b * y)/a \quad (5.2)$$

Para a obtenção do gráfico da Figura 5.6 foram utilizados os seguintes coeficientes para (5.1): $a = 7736$ kWh/ano; $b = 2020$ R\$/ano; $c = \text{R\$ } 40.400,00$.

Assim, A partir das simulações do Homer foi determinada uma capacidade de geração anual de 7736 kWh, referente a 51% do consumo anual de uma estação.

Para exemplificar, ao desejar um retorno do investimento em 10 anos, será necessária uma tarifa superior a R\$ 2,00. Mas, para um período de 18 anos pode-se obter o retorno de todo valor investido considerando a tarifa empregada atualmente para a localidade em estudo: 0,567 R\$/kWh.

5.4.2 Analisando a Taxa Interna de Retorno (TIR)

Para efetuar este tipo de análise de investimento é necessário definir alguns parâmetros de atratividade (KASSAI et al, 2000). Neste caso será definida uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) a ser atingida, visando obter uma TIR superior, sendo o sinal de viabilidade do projeto. A Equação (5.3), conforme Oliveira (1982) apresenta a formulação para cálculo da TIR:

$$0 = \text{Investimento Inicial} + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} \quad (5.3)$$

Normalmente, a TIR não pode ser resolvida de forma direta, por requerer inúmeras iterações. Assim, neste caso, foi utilizada a Tabela 5.3 e aplicada as iterações através de um sistema computacional, no software Excel.

Tabela 5.3 – Dados do fluxo de caixa esperado em 20 anos para cálculo da TIR.

Tempo [anos]	Fluxo de Caixa [R\$]
0	-40.400,00
1	4386,31
2	4386,31
.	.
.	.
.	.
20	4386,31

Para determinar a TMA pode-se usar uma taxa básica de poupança. No entanto, para empreendimentos empresariais são, normalmente, usados outros parâmetros para defini-la. Neste caso, se pode optar pela referência de Kassai et al (2000) que analisou um período histórico do mercado de ações norte-americano superior a 70 anos, obtendo um retorno anual nesse período de 10,4% ou a taxa básica de juros brasileira, que em julho de 2013, estava em 8,5% ao ano. Foi optado pela segunda alternativa por tratar-se do ganho mínimo atribuído a títulos do governo brasileiro, tendo garantias de liquidação com o ganho previsto.

A partir desta definição foi montada a tabela de retorno de caixa anual através da economia de energia e calculada a TIR correspondente, apresentada na Tabela 5.3 e de onde se obtém uma TIR = 8,88%. Esse valor sinaliza, pela TMA adotada de 8,5%, que o investimento é economicamente atraente.

5.4.3 O retorno do investimento

Outra análise que pode ser realizada é quanto ao retorno do capital investido diretamente. Ao considerar o custo total apresentado de R\$ 40.400,00, tem-se um custo anual de R\$ 2.020,00 para ser recuperado em 20 anos. A economia máxima com a geração de energia por ano será R\$ 4.386,31 para um aproveitamento dos 7736 kWh/ano gerados a R\$ 0,567/kWh de tarifa no local. Com isso, se pode retirar o custo da instalação em torno de 9 anos a partir somente da economia de energia, como demonstrado na Figura 5.7.

O retorno deste investimento a partir das considerações anteriores pode ser alcançado através dos dados da Tabela 5.4 que considera a comparação entre a economia de energia e o custo de instalação do projeto.

Para obter os valores desta tabela foi utilizada a Equação (5.4) que apresenta o valor total da instalação, sendo abatido pelo ganho obtido com a economia de energia a partir da microgeração.

$$\text{Resultado} = \text{custo} - \text{tempo} * 7736 * \text{Tarifa} \quad (5.4)$$

A variável *Resultado* apresenta um valor monetário, conforme especifica a Equação (5.5).

$$\text{Resultado} = x (\text{R}\$) - y \text{ ano} * \frac{\text{kWh}}{\text{ano}} * \frac{\text{R}\$}{\text{kWh}} = z(\text{R}\$) \quad (5.5)$$

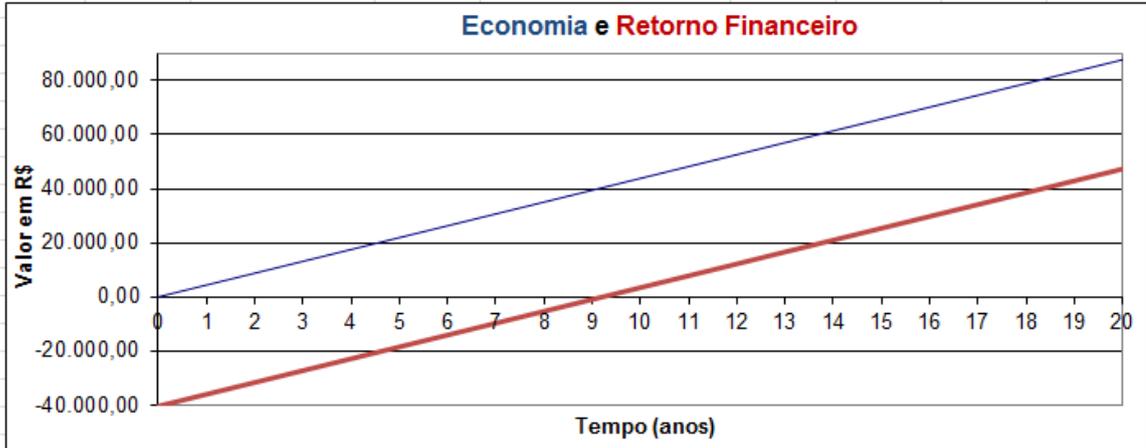


Figura 5.7 – Economia gerada em 20 anos e retorno financeiro do projeto.

Tabela 5.4 – Retorno do capital investido – *payback*.

Tempo [anos]	Energia [kWh]	Tarifa [R\$]	Economia [R\$]	Custo [R\$]
0	0	0,567	0,00	-40.400,00
1	7.736	0,567	4.386,31	-36.013,69
2	15.472	0,567	8.772,62	-31.627,38
3	23.208	0,567	13.158,94	-27.241,06
4	30.944	0,567	17.545,25	-22.854,75
5	38.680	0,567	21.931,56	-18.468,44
6	46.416	0,567	26.317,87	-14.082,13
7	54.152	0,567	30.704,18	-9.695,82
8	61.888	0,567	35.090,50	-5.309,50
9	69.624	0,567	39.476,81	-923,19
10	77.360	0,567	43.863,12	3.463,12
11	85.096	0,567	48.249,43	7.849,43
12	92.832	0,567	52.635,74	12.235,74
13	100.568	0,567	57.022,06	16.622,06
14	108.304	0,567	61.408,37	21.008,37
15	116.040	0,567	65.794,68	25.394,68
16	123.776	0,567	70.180,99	29.780,99
17	131.512	0,567	74.567,30	34.167,30
18	139.248	0,567	78.953,62	38.553,62
19	146.984	0,567	83.339,93	42.939,93
20	154.720	0,567	87.726,24	47.326,24

Assim, o retorno financeiro ocorre entre 9 e 10 anos ao considerar apenas a economia gerada pelo menor consumo de energia elétrica. Para uma instalação com

vida útil prevista para 20 anos, tem-se o retorno com 45% do tempo de uso. Resumidamente, para um investimento de R\$ 40.400,00 é previsto um retorno financeiro de R\$ 87.726,24 com um lucro líquido de R\$ 47.326,24 para cada empreendimento deste porte.

A partir do levantamento efetuado e da tabela apresentada é possível colocar esses dados em um gráfico que mostre esta relação, Figura 5.7. O retorno financeiro parte do investimento inicial de R\$ 40.400,00 que ao passar por zero tem seu custo totalmente coberto, o que ocorre logo após completar o nono ano, em vermelho. Em azul é ilustrado o ganho monetário do projeto em 20 anos.

5.5 Cenários da microgeração de energia elétrica com fonte fotovoltaica nas telecomunicações

Uma das características presentes na estação de telecomunicações, que colabora diretamente para a integração dos processos de forma econômica e técnica, são os bancos de baterias. Com sua capacidade de armazenamento de energia, esses acumuladores são indispensáveis para o funcionamento ininterrupto deste tipo de serviço.

Pelas análises anteriores percebe-se que o sistema proposto tem forte apelo prático. Mas, existe outro aspecto importante a analisar: a venda de energia, aproveitando as prováveis alterações de tarifa que devem criar custos diferenciados para a energia de acordo com os horários mais críticos para a rede de distribuição.

Para avaliar esse aspecto foi realizada a simulação considerando os critérios de carga da estação para os cenários específicos de forma a analisar se há necessidade de bancos de baterias adicionais e, nesse caso, a viabilidade financeira do processo. Assim, para os períodos sem insolação no horário simulado ou consumo maior que a capacidade de geração fotovoltaica ocorre a descarga dos bancos de baterias.

Os horários escolhidos basearam-se nos picos típicos da curva de carga residencial brasileira para a rede de distribuição em BT e no provável aumento de tarifa nesses intervalos (FIGUEIRÓ et al, 2012). Com isso, foi possível analisar se os bancos de baterias têm condições de suprir a carga interna e ainda fornecer energia

à rede de BT, sem perder a capacidade de manter o serviço de telecomunicações com autonomia mínima de 8 horas.

Os acumuladores projetados têm característica de 1000 Ah/10h. Essa informação significa que o banco tem possibilidade de suprir uma carga que consome 100 A por 10 h. Embora o fabricante informe uma eficiência de 86%, é adotada, por segurança, uma eficiência de 80%, o que significa dizer que a carga será suprida por até 8 horas ininterruptas.

No entanto, em caso de descarga parcial no período de venda da energia à distribuidora local, os bancos de baterias só irão adquirir plena carga no próximo período de Sol, ao considerar apenas a geração fotovoltaica para recarregá-los. Se a rede for utilizada para tal, deve-se fazer esta recarga, obrigatoriamente, em período de tarifa reduzida para que o balanço financeiro da operação seja positivo. A seguir foram realizadas simulações de alguns cenários possíveis de venda da energia armazenada na microgeração. Para simular esses cenários, foram usadas as premissas da Tarifa Branca (ANEEL, 2012e), onde o período horário de tarifa mais elevada deve ter 1 hora de duração e a hora anterior e posterior devem ter uma tarifa intermediária, para o cliente residencial em BT.

5.5.1 Cenários de consumo das baterias entre 18h e 21 horas

Para simular esta característica, foi carregado o perfil de carga da estação nos horários entre 19 e 20 horas e 18 e 21 horas, para o ano inteiro e retirado o acesso à rede elétrica de BT, de forma a avaliar o comportamento dos bancos de baterias para fornecer a energia armazenada durante o dia para suprir 100% da carga.

Na Figura 5.8 é apresentado o resultado da simulação da geração fotovoltaica entre 19 e 20 horas e na Figura 5.9 o período entre 18 e 21 horas, com os bancos de baterias sustentando a carga da estação.

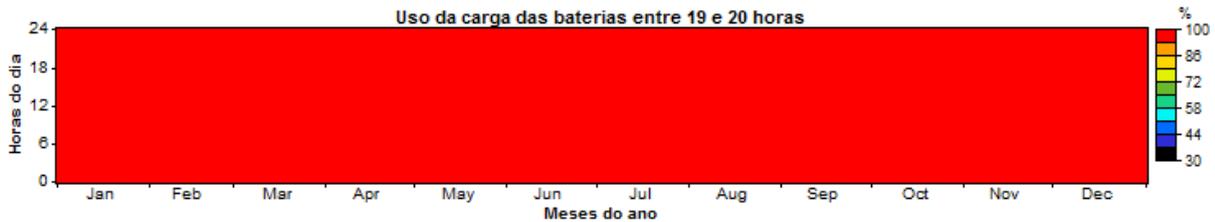


Figura 5.8 – Comportamento dos bancos de baterias entre 19h e 20h para o período de um ano. Fonte: Homer.

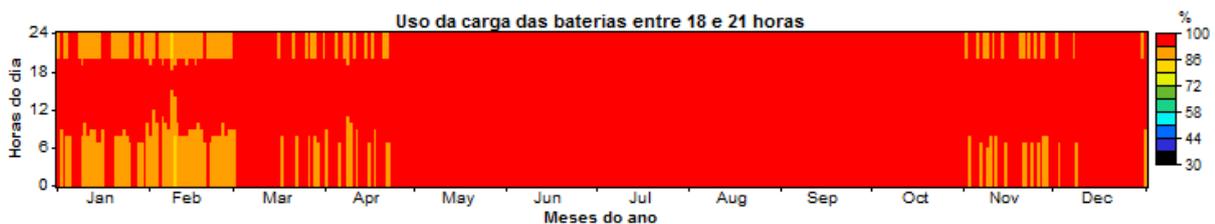


Figura 5.9 – Comportamento dos bancos de baterias entre 18h e 21h para o período de um ano. Fonte: Homer.

Na Figura 5.8 a descarga não atinge os 94% da carga total, mas a análise da Figura 5.9 indica que nos períodos de maior consumo de energia ocorre descarga elevada dos bancos de baterias, chegando próximo do limite mínimo que é de 70%. Nesses dias, pela análise detalhada, foi verificado que são períodos de baixa insolação (chuva ou neblina), somados ao maior consumo da estação. Embora os dias de nebulosidade elevada mudem a cada ano, a tendência é que a condição mensal se mantenha, ou seja, o número de dias com esse tipo de evento no mês. Nos demais períodos do ano o nível de carga não fica inferior a 94% e, por isso, esse será o limite utilizado para simular a venda de energia a partir do armazenamento nos acumuladores presentes.

Considerando a capacidade do inversor de 6 kW, com eficiência de 90%, e uma capacidade máxima de 90% nos bancos de baterias, abaixo dos 94% por segurança, se pode obter o potencial para fornecimento de energia à rede de BT: 5,4 kW (90% de 6 kW) de potência ou 43 kWh (900 Ah * 48 V). Essa energia pode ser avaliada pela incidência da Tarifa Branca (ANEEL, 2012e), com possível aumento do retorno financeiro ao empreendedor nesse período horário específico.

Na Figura 5.10 é mostrada a situação de interrupção no fornecimento de energia da concessionária entre 23 horas e 3 horas do dia seguinte, para um banco de 1.000 Ah. A iniciativa era tentar um período de 8 horas de autonomia, mas o

máximo atingido foi 4 horas para esse banco, reduzindo em 50% a autonomia requerida pelo sistema.

Para um banco menor nessa situação, de 55 Ah, por exemplo, não atenderia nem 1 hora, por estar no limiar inferior de carga. Essa análise também deve ser realizada, pois em caso de falha no banco principal é colocado um de menor capacidade, provisoriamente, para verificação e correção dos elementos com falha no banco principal, de maior capacidade.

Os principais pontos para realizar a simulação nesse período horário foram: tratar-se do momento onde a geração fotovoltaica não pode carregar os bancos de baterias, ficando estes sob a carga exclusiva da rede de BT; ser o melhor momento para venda, ao considerar possíveis acréscimos de tarifa; e, ser o período de menor consumo da estação.

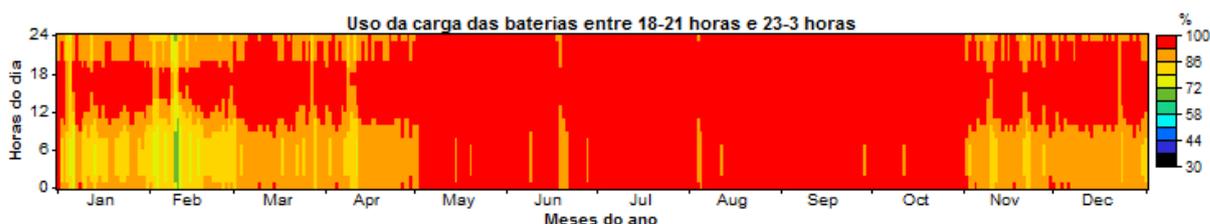


Figura 5.10 – Falta de energia entre 23 e 3 horas do dia seguinte: limite para baterias de 1.000 Ah. Fonte: Homer.

Com isso, se pode afirmar que para efetuar a venda de energia em horário fora do período de geração existe a necessidade de ampliar a capacidade dos bancos de baterias, o que irá impactar diretamente no custo do projeto. Por exemplo, para o banco apresentado na Figura 5.10 deveria ser dobrada sua capacidade para garantir o período de 8 horas de autonomia e, para baterias ventiladas o custo de 2 bancos de 1.000 Ah/10 h oscila entre R\$ 45.000,00 e R\$ 60.000,00 dependendo do fabricante, tempo de entrega e período de garantia.

5.5.2 Venda de energia no período entre 18 e 21 horas

É importante que se tenha a percepção a respeito desta simulação de resultado, pois foi considerado um cenário de perda da autonomia da estação e outro com aumento do custo da instalação, ao dobrar a capacidade dos bancos de

baterias. Isso ocorre porque não há excedente de energia, ou seja, a geração é inferior ao consumo da própria estação. Dessa forma, a alternativa para utilizar esta microgeração para venda de energia, passa por uma das duas alternativas: diminuir autonomia do sistema ou aumentar a capacidade de armazenamento de energia.

Efetuada a venda, sem aumentar a capacidade dos bancos de baterias de 1.000 Ah tem-se um aumento de receita previsto conforme consumo diário informado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Perfil de consumo de energia da estação para um dia

CONSUMO	kWh	
Médio mensal aproximado	1000	
Médio diário	33,33	
Período diário (8 às 17 horas)	16,67	→ 1,85 kWh/h
Período noturno (17 às 23 horas)	8,33	→ 1,39 kWh/h
Período da madrugada (23 às 8 horas)	8,33	→ 0,93 kWh/h

Ao considerar os horários de ponta entre 19 e 20 horas, intermediário entre 18 e 19 horas e 20 e 21 horas e, fora de ponta entre 21 e 18 horas do dia seguinte, obtém-se uma diferença em torno de 3,5% entre o valor normal e com o acréscimo provável da Tarifa Branca. Esse pequeno desvio ocorre, principalmente, devido à redução do consumo de energia da estação de telecomunicações após as 17 horas, conforme ilustrado na curva de carga apresentada na Figura 5.1.

O custo para dobrar a capacidade dos bancos de baterias está em torno de R\$ 60.000,00 para 2 bancos adicionais de 1.000 Ah/10h. A economia de energia, para um consumo médio de 1.005,92 kWh/mês seria equivalente a gastar 965,7 kWh/mês. Para simulação com o custo da energia no local em estudo que é de R\$ 0,57/kWh ocorreria uma economia de R\$ 22,80/mês ou R\$ 273,60/ano.

Percebe-se, assim, que o ganho efetivamente conquistado com as informações da Tabela 5.5, não atende o custo que envolve o aumento da capacidade dos bancos de baterias para realizar a venda, mantendo a autonomia mínima de 8 horas para a estação de telecomunicações.

Considerações finais

Neste capítulo foram apresentados os principais pontos de convergência entre a microgeração com fonte fotovoltaica e o sistema de telecomunicações. Sobretudo, foi simulada a inserção da microgeração de energia elétrica em pequenas estações de telecomunicações da região Noroeste do Rio Grande do Sul, de forma a avaliar sua capacidade e retorno financeiro.

Para verificar a validade dos procedimentos e avaliar o sistema foram utilizados conceitos de Engenharia Econômica e o Método Simplex da Programação Linear para avaliar o processo financeiramente. Tecnicamente foram analisados alguns cenários de venda de energia, concluindo pela inviabilidade desta prática porque tornaria a microgeração proposta muito cara ou diminuiria a autonomia necessária do sistema de telecomunicações.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi analisada a aplicação da fonte fotovoltaica de energia elétrica nas estações de pequeno porte de telecomunicações no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

Para realizar essa tarefa foi necessário conhecer vários pontos importantes.

- Os principais requisitos para implantar esse tipo de geração de energia.
- A região geográfica onde será aplicado esse estudo.
- A área disponível para acomodação dos painéis fotovoltaicos.
- Estudar a capacidade do sistema proposto quanto à capacidade de geração de energia elétrica.
- Conhecer as leis e normas técnicas que regem o modelo de sistema de geração de energia elétrica proposto.

6.1 Conclusões

A microgeração de energia elétrica é uma ferramenta útil para agregar energia no sistema de distribuição em BT e diminuir os picos de consumo, mas necessita, para isso, da medição bidirecional do fluxo de energia para que seja aplicado o sistema de compensação previsto na Resolução 482/2012. Assim, a potência fornecida à rede pode ser compensada pela consumida.

No entanto, essa prática requer ainda a implantação de inversor, para converter a potência gerada em corrente contínua nos painéis em alternada e um conversor para elevar o nível de tensão na saída, pois a geração deve ser em 48 Vcc, de forma a interligar com a rede de distribuição em BT monofásica: 220 Vac. Ao inserir essa conversão de CC-CA e elevar o nível de tensão, ocorre uma perda de rendimento que pode ir de 75 a 90%, dependendo do equipamento projetado.

Outro fator relevante, quanto à venda de energia para rede de distribuição é que o sistema de telecomunicações não manterá sua autonomia de 8 horas de funcionamento a partir da energia armazenada nas baterias. Conforme apresentado na seção 5.5.1, caso seja disponibilizada energia para a concessionária local os

bancos de baterias devem ter sua capacidade duplicada, no mínimo, o que faz o custo do projeto mais que duplicar.

Neste estudo, a análise focou-se na capacidade de geração de energia elétrica com fonte fotovoltaica a partir de pequenas estações de telecomunicações. Assim, foi detalhado o funcionamento e as características de consumo de energia elétrica por essas estações e seus respectivos equipamentos internos. Além disso, foi analisado o seu perfil de consumo, sendo medida a curva de carga com vistas a proporcionar a escolha do melhor ponto para inserção da energia proveniente da microgeração no sistema de BT ou no uso interno para alimentação dos equipamentos. A partir dos dados obtidos, o sistema foi simulado.

Dessa forma, após as análises e simulações efetuadas é possível concluir que o sistema proposto tem um forte apelo prático, tanto pelo fator de desenvolvimento tecnológico quanto pelo fator de retorno financeiro que, deve ocorrer em tempo inferior a 50% da vida útil dos equipamentos da microgeração fotovoltaica instalada.

No entanto, a venda da energia produzida não deve ser o foco deste projeto, pois não há excedente de produção para disponibilizar à rede de BT. Caso seja realizada a comercialização desta energia, a autonomia das estações de telecomunicações fica comprometida, pois diminui em cerca de 50%, caindo a confiabilidade do sistema e diminuindo o aproveitamento energético da potência gerada nos painéis, devido ao rendimento do inversor CC-CA que deverá ser instalado. Além disso, o custo para melhorar a autonomia de baterias, adquirir os demais acessórios e permitir esse tipo de negócio acarreta um maior investimento que não é coberto pelo novo retorno conquistado.

Finalizando, as características comuns entre a geração de energia com fonte fotovoltaica e as estações de telecomunicações formam um conjunto de possibilidades que deve ser explorada para melhorar o sistema elétrico brasileiro e agregar valor à infraestrutura predial das unidades prestadoras do serviço de telecomunicações no Brasil. Ao gerar energia em CC, diretamente para os equipamentos deste serviço, o aproveitamento energético dos painéis pode ser, praticamente, utilizado em sua totalidade.

6.2 Trabalhos futuros

Como agenda, para trabalhos futuros, podem-se citar alguns pontos para aprofundar os estudos.

- Substituição dos GMGs estacionários, movidos a diesel e fontes de ruídos, por fontes fotovoltaicas nos prédios de maior porte.
- Estudo completo das curvas de cargas de todos os consumidores internos de uma estação de telecomunicações, de forma a otimizar o consumo de energia.
- Levantamento completo do perfil de consumo das estações de telecomunicações de maior porte quanto às estações do ano.
- Estudar o melhor ponto entre a capacidade de armazenamento de energia e o retorno do investimento.
- Custos e vantagens de sistema de *Smart Metering* para projetos com fontes renováveis.
- Buscar verbas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da ANATEL de forma a implantar um projeto piloto.

6.3 Trabalhos publicados e revisados

Ao longo deste trabalho foram aprovados e publicados 5 artigos acadêmicos em eventos nacionais e internacionais. O autor foi revisor de 2 artigos da área de Telecomunicações em evento internacional.

Segue a lista dos referidos artigos:

- VIII CPBE – Congresso Brasileiro de Planejamento Energético – entre 12 e 15 de agosto de 2012, Curitiba/PR.
Título do trabalho publicado: “*Smart Grid* e Geração Distribuída com Pequenas Fontes Renováveis de Energia Aplicada nas Telecomunicações – Estudo de Viabilidade”.
- POWERENG’13 – *International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives* – entre 13 e 17 de maio de 2013, Istambul - Turquia.

Título do trabalho publicado: “*The grid connection Photovoltaic-Powered Distributed in small Telecommunications stations in the far south of Brazil*”.

- CBQEE’13 – X Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica – entre 25 e 28 de junho de 2013, Araxá/MG.

Título do trabalho publicado: “A Melhoria da Qualidade de Energia a Partir do Gerenciamento de Energia pelo Lado da Demanda”.

- VIII CIERTEC – Gestão de Ativos como Sustentabilidade para as Distribuidoras de Energia Elétrica – entre 18 e 20 de setembro de 2013, Fortaleza/CE.

Título do trabalho aprovado: “A Previsão da Necessidade de *Backbone* para Atender a Demanda de Tráfego de Dados após a Instalação Maciça de *Smart Metering* no Brasil”.

Título do trabalho aprovado: “Análise da Viabilidade Econômica dos Investimentos em Pequenos Aproveitamentos de Geração de Energia Elétrica”.

- 10th INDUSCON – IEEE/IAS *International Conference on Industry Applications* – entre 5 e 7 de novembro de 2012, Fortaleza/CE.

Trabalho revisado: “Desenvolvimento de Ferramentas Web Via Alertas SMS Aplicado em um Sistema de Geração Distribuída”.

Trabalho revisado: “Implementação de uma Rede *Smart Grid* - Solução De Comunicação e Roteamento”.

REFERÊNCIAS

ABINEE LCA. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. 2012. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em: 1 mai. 2013.

AMIN, S. Smart grid security, privacy, and resilient architectures: Opportunities and challenges. **Power and Energy Society General Meeting, 2012 IEEE**, pp. 1-2.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução 482/2012**. 2012a. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 1 abr. 2013.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Consumidores, Consumo, Receita e Tarifa Média – Por Classe de Consumo**. 2012b. Disponível em: <http://rad.aneel.gov.br/ReportServerSAD?%2fSAD_REPORTS%2fConsumidoresConsumoReceitaTarifaMedia-ClasseConsumo&rs:Command=Render>. Acesso em: 3 mar. 2013.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **ConsumoReceitaTarifaMédia**. 2012b. Disponível em: <http://rad.aneel.gov.br/ReportServerSAD?%2fSAD_REPORTS%2fConsumidoresConsumoReceitaTarifaMedia-ClasseConsumo&rs:Command=Render>. Acesso em: 3 mar. 2013.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Nota Técnica 129/2012-SRD/ANEEL**. 2012c. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Nota_Tecnica_0129_SRD.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2013.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição-PRORET**. 2012d. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 2 set. 2012.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **PRODIST Módulo 3**. 2012e. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1867>. Acesso em: 9 abr. 2013.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil- Capítulo 03 - 2ª Edição**. 2012f. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>>. Acesso em: 8 mar. 2013.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatório de Informações Gerenciais trimestral - Mar-2013**. 2013. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Z_IG_Mar_2013.pdf>. Acesso em: 1 mai. 2013.

ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. **Resolução 605 - Aprova o Regulamento de Gestão de Qualidade da Prestação do STFC - 26 Dez. 2012**. 2012. Disponível em: <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/2012/440-resolucao-605>>. Acesso em: 1 mai. 2013.

ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. **Resolução 552 - Aprova Alteração nos Contratos de Concessão do STFC - 10 Dez. 2010**. 2010. Disponível em: <<http://legislacao.anatel.gov.br/25-2010/39-resolucao-552>>. Acesso em: 1 mai. 2013.

ALSEMA, E. A.; WILD-SCHOLTEN, M. de. Environmental Impact of Crystalline Silicon Photovoltaic Module Production. **Presented at Materials Research Society Symposium**. 1 Nov. 2005.

ANGELOS, E. D.; SAAVEDRA, O.; CORTÉS, O.; SOUZA, A. D. Detection and Identification of Abnormalities in Customer Consumptions in Power Distribution Systems. **IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY**, VOL. 26, N. 4, pp. 2436-2443. 1 Oct. 2011.

BBC. **Weather**. Disponível em: <<http://www.bbc.co.uk/weather/>>. Acesso em: 10 Apr. 2013.

BP SOLAR. **180 W Photovoltaic module**. EUA: BP Solar, 2010.

CAIRES, L. E. **Aplicação de Redes Inteligentes nas Instalações Elétricas Residenciais**. São Paulo: Ed. da USP, 2010.

COLIN, E. C. **Pesquisa Operacional-170 Aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas**. São Paulo: Editora LTC, 2007.

CÔRTEZ, A. D. **Desenvolvimento de Células Fotovoltaicas Utilizando Silício Metalúrgico Melhorado**. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais)- Universidade de Campinas, Campinas: UNICAMP, 2012.

DEPLAN RS, Departamento de Planejamento da Secretaria de Planejamento do RS. **Atlas Socioeconômico do RS**. 2012. Disponível em: <<http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=340#>>. Acesso em: 2 abr. 2013.

ENERGY. **Programa EUA \$ 1 / W**. Disponível em: < <http://www.renewableenergyfocus.com/view/18664/doe-goal-dollar-per-watt-installed-for-solar-pv-by-2017/>>. Acesso em: 2 Apr. 2013.

E., P., MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: Ed. do INPE, 2006.

ENERGIA, G. D. Ministério de Minas e Energia. **A Melhoria da Qualidade da Energia a partir do Gerenciamento de Energia pelo Lado da Demanda**. 2008. Brasília: Departamento de Desenvolvimento Energético, 2008.

FARANDA, R., LEVA, S.; MAUGERI, V. **MPPT techniques for PV Systems: energetic and cost comparison**. *IEEE Journal* , pp. 1-6. 1 May. 2008.

FARRET, F. **Pequenos Aproveitamentos de Energia Elétrica**. 2ª Ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2010.

FEGHALI, J. P. **Mecânica dos Fluidos - Vol 1**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A., 1974.

FUKUROSAKI, S. H. **Avaliação do Ciclo de Vida de Potenciais Rotas de produção de Hidrogênio...** 2011. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais)- Universidade Federal de São Paulo, São Paulo: Ed. do IPEN - USP, 2011.

CÔRTEZ, A. D. **Desenvolvimento de Células Fotovoltaicas Utilizando Silício Metalúrgico Melhorado**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais)- Universidade de Campinas, Campinas: UNICAMP, 2012.

GONZÁLEZ-MONROY, L. I.; CÓRDOBA, A. *Financial costs and environmental impact optimization of the energy supply systems*. **INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH** (DOI: 10.1002/er.760) , pp. 27-44. 2001.

HOTTEL, H. C. *A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmospheres*. **ScienceDirect-Solar Energy** , pp. 129-134. 1976.

HU, L. L.; XIAO GUANG; C. K., & HE, K. The Applications Of WiFi-based Wireless Sensor Network In Internet Of Things And Smart Grid. **2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications** , pp. 789-793. 2011.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **INMET - Gráficos**. 2012. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sim/gera_graficos.php>. Acesso em: 2 abr. 2013.

INPE ELAT. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Portal ELAT - Ranking de incidência de descargas atmosféricas por município no Brasil**. 2012. Disponível em: < <http://www.inpe.br/ranking/>>. Acesso em: 2 abr. 2013.

JINGCHENG, G.; YANG, X.; JING, L., WEI, L.; CHEN, C. L. A survey of communication/networking in Smart Grids. **Future Generation Computer Systems** **28**, 391-404. 2012.

KAGAN, N.; SCHMIDT, H. P.; OLIVEIRA, C.; KAGAN, H. **Métodos de Otimização Aplicados a Sistemas Elétricos de Potência**. São Paulo: E. Blucher, 2009.

KASSAI, R.; et al. **Retorno de investimento: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial**. São Paulo: Ed Atlas, 2000.

LAMIN, H. **Medição eletrônica em baixa tensão: aspectos regulatórios e recomendações para implantação**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Brasília: PPGENE, DM-381/09, 2009.

LEAL, A. G. **Sistema para determinação de perdas em redes de distribuição de energia elétrica utilizando curvas de demanda típicas de consumidores e redes neurais artificiais**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

LEAL, W. O Status das Energias Renováveis na Alemanha. **JELARE - Joint European-Latin American Universities Renewable Energy Project** (pp. 1-18). Florianópolis: Unisul Brasil/Alfa Alemanha, 2009.

LINO, P.; VALENZUELA, P.; FERREIRA, R.; BARROSO, L.; BEZERRA, B.; PEREIRA, M. Energy tariff and demand response in Brazil: An analysis of recent proposals from the regulator. **ISGT - Innovative Smart Grid Technologies (Latin America), IEEE PES Conference**, pp. 1-7. 2011.

LORA, E. E. S.; ADDAD, J. (Coord.). **Geração Distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2006.

MARCELINO, G. V.; LUDOVINO, S. Crescimento da Geração Distribuída em Portugal e Alterações a Nível Regulamentar Induzidas por Este Crescimento. **XIII ERIAC**, pp. 1-8. 2009.

NARAYANAN, K. L.; YAMAGUCHI, M. Cracking Bucky Balls for PV Applications. **IEEE-3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion**, pp. 161-164. 11 May. 2003.

NÓBREGA, A. P. da. **Resultados da Audiência Pública 43/2012**. Brasília: ANEEL, 2012.

OLIVEIRA, J. A. N. de. **Engenharia Econômica: uma abordagem às decisões de investimento**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.

OLIVEIRA, C.; KAGAN, N.; MÉFFE, A.; JONATHAN, S.; CAPARROZ, S.; CAVARETTI, J. A NEW METHOD FOR THE COMPUTATION OF TECHNICAL LOSSES IN ELECTRICAL POWER DISTRIBUTION SYSTEMS. **CIREDE. 16th International Conference and Exhibition on (IEE Conf. Publ No. 482)**, p. 5.25. 18 Jun. 2001.

PAULESCU, M.; PAULESCU-TULCAN, E.; STEFU, N. **INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH** (DOI: 10.1002/er). *A temperature-based model for global solar irradiance and its application to estimate daily irradiation values*, pp. 520-529. 28 Apr. 2010.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

PEREIRA FILHO, M. L. **Técnicas de Aterramentos Elétricos**. 4a Edição, São Paulo: Oficina de Mydia Editora, 2002.

PINOMAA, A.; AHOLA, J.; KOSONEN, A. Power-Line Communication - Based Network Architecture for LVDC Distribution System. **2011 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications**, pp. 358-363. 3 Apr. 2011.

RAUGEI, M.; FRANKL, P. Life cycle impacts and costs of photovoltaics: current state of the art and future outlooks. **2009 IEEE Energy**, pp. 392-399. 1 Aug. 2009.

REN21. **Renewables 2012 - Global Status Report**. Paris: REN21 Secretariat.

RIC AES, CEEE, RGE. **RIC DE INSTALAÇÕES EM BT**. Disponível em: <http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Archives/upload/RIC%20BT%202008_33053.pdf>. Acesso em: 4 Abr. 2013.

RODRIGUES, M. F.; ABAIDE, A. D.; CANHA, L. N. *Smart Grid e Geração Distribuída com Pequenas Fontes Renováveis de Energia Aplicada nas Telecomunicações – Estudo de Viabilidade*. **VIII CBPE - Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**, pp. 1-4. 1 ago. 2012.

RODRIGUES, M. F.; FIGUEIRÓ, I. C.; MALAQUIAS, L.; ABAIDE, A. R.; BOLGENHAGEN, S. A Melhoria da Qualidade da Energia a partir do Gerenciamento de Energia pelo Lado da Demanda. **CBQEE - Congresso Brasileiro de Qualidade de Energia Elétrica**, pp. 33-39. 12 mai. 2013.

RODRIGUES, M. F.; ABAIDE, A.; FIGUEIRO, I.; NETO, N. Grid of Microgeneration Distributed Photovoltaic in Small Telecommunications Stations in Southern of Brazil. **POWERENG 2013**, p. 548-550. 20 May. 2013.

RÜTHER, R. **Potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil e projetos vitrine Estádios Solares e Aeroportos Solares 2014**. Apresentação no Senado Federal. Brasília: Ed. do Senado, 2010.

SANTOS, F. L. **Desenvolvimento de um sistema para avaliação das ações de GLD em processos produtivos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Pontifícia Universidade Católica de Porto Alegre, Porto Alegre, 2008.

SANTOS, I. P. dos. **Integração de Painéis Solares Fotovoltaicos em Edificações Residenciais e sua Contribuição em um Alimentador de Energia de Zona Urbana Mista**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SCHÖFFEL, E.R.; LAGO, I. **Transmitância Global e Agrometeorologia**. Disponível em: <<http://www.ufpel.edu.br/faem/agrometeorologia/RADSOL.pdf>>. Faculdade de Agronomia - Agrometeorologia. UFPEL. 2012. Acesso em: 13 abr. 2013.

SEMYONOV, L. **Storage Batteries Maintenance, Manual**. Moscou: Mir Pub, 1976.

SIEMENS A.G. **Teoria do tráfego telefônico: tabelas e gráficos**. Volume 1. Tradução Eng. FARIA, P. M. B. de. São Paulo: E. Blücher, 1975.

SILVA, C. E. de A. **Inversor Monofásico Isolado de Alta Frequência com Ampla Faixa de Tensão**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007

SILVA, B. G. I. **Guia Jubarte de Telecomunicações**. 28 mai. 2010. Disponível em: <<http://www.hardware.com.br/tutoriais/jubarte/>>. Acesso em 1 mar. 2013.

SMA - Solar Technology. **Performance of Photovoltaics in Germany**. Disponível em: <<http://www.sma.de/en/company/pv-electricity-produced-in-germany.html>>. Acesso em: 11 März. 2013.

SPITZLEY, D. V.; KEOLEIAN, G. A.; BARON, S. G. **INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH** (DOI: 10.1002/er). *iLife cycle energy and environmental analysis of a microgrid power pavilion* , pp. 1-13. 1 Aug. 2006.

TELEBRAS. Telecomunicações Brasileiras S.A. **Lei 9.472 de 16 de Julho de 1997 - Desestatização do sistema de telecomunicações**. 1997. Brasília/DF. Disponível em: < <http://legislacao.anatel.gov.br/leis/2-lei-9472>>. Acesso em: 1 mai. 2013.

TANENBAUM, A. S.; WETHERERALL, D. J. **Redes de Computadores**. São Paulo: Prentice Hall Brasil, 2004.

UFSC/IDEAL. **Relatório Estádios Solares - Opção Sustentável para a Copa 2014**. Disponível em: <<http://www.americadosol.org/wp-content/uploads/2010/08/Estadios-Solares-UFSC-e-Ideal-GTZ-20100501.pdf>>. Brasil-Alemanha: Programa Energia, GTZ Brasil. 2010.

UNICAMP INOVAÇÃO. Grupo purifica silício para fabricação de células solares. **Jornal da Unicamp**. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/unicamp/ju/530/grupo-purifica-silicio-para-fabricacao-de-celulas-solares>>. Acesso em: 1 mai 2013.