



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS**

CHARLEANE ALVES COSTA

**ANÁLISE QUALITATIVA DO SISTEMA ELÉTRICO EM FUNCIONAMENTO NO
CENTRO DE PESQUISA CANGUÇU**

**Palmas - TO
2016**



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS**

CHARLEANE ALVES COSTA

**ANÁLISE QUALITATIVA DO SISTEMA ELÉTRICO EM FUNCIONAMENTO NO
CENTRO DE PESQUISA CANGUÇU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Coordenação da Área de Indústria como
requisito para à obtenção do grau de
Tecnóloga em Sistemas Elétricos do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins – *Campus Palmas*.

Orientador Prof. Me. João Coelho de Sousa
Filho

Palmas - TO

2016

Costa, Charleane Alves

Análise Qualitativa do Sistema Elétrico em Funcionamento no Centro de Pesquisa Canguçu – Charleane Alves Costa – Palmas, 2016.

69f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Tecnológica em Sistemas Elétricos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – *Campus* Palmas 2016.

Orientador: Prof. Me. João C. de Sousa Filho

1 - Qualidade de Energia. 2 - Geração Híbrida de Energia Elétrica

CHARLEANE ALVES COSTA

**ANÁLISE QUALITATIVA DO SISTEMA ELÉTRICO EM FUNCIONAMENTO NO
CENTRO DE PESQUISA CANGUÇU**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como cumprimento às exigências legais do currículo do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Elétricos pela Coordenação da Área de Indústria no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – *Campus Palmas*.

Aprovado em: ____/____/____

Prof. Esp. Felipe Tozzi Bittencourt.

Supervisor do Trabalho de Conclusão de Curso

Banca Examinadora:

Prof. Me João C. de Sousa Filho

Presidente e Orientador

Prof. Esp. Felipe Tozzi Bittencourt

Membro de Banca Examinadora

Prof. Dr. Fábio L. de Albuquerque

Membro de Banca Examinadora

Dedico a minha família: meus irmãos: Charles, Charliel, Charliedson, Charles Eudes, e as minhas irmãs: Charlene, Chardilene, Chardiane e Chardielem, aos meus cunhados(as), sobrinhos(as), aos amigos(as) e principalmente à minha querida mãe Josefa da Conceição Alves Costa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades, pois sem Deus eu não teria traçado o meu caminho e feito a minha escolha pelo curso Tecnológico de Sistemas Elétricos e depois dele minha querida mãe Josefa da Conceição A. Costa, que doou seu tempo para que se efetivasse a minha pesquisa. Sem ela nada disso seria possível, ela foi a peça fundamental para a concretização do meu trabalho.

Ao meu orientador João Coelho Filho pelo suporte no pouco tempo que lhe coube e pelas suas correções e incentivos por exigir de mim muito mais do que eu supunha ser capaz de fazer. Agradeço por transmitir seus conhecimentos e por fazer do meu TCC uma experiência positiva e, principalmente, por ter confiado em mim.

Agradeço à minha família por ter me apoiado e ficado ao meu lado nas horas em que mais precisei.

A todos os professores e em especial aos professores Fabio Lima e Felipe Tozzi por terem apoiado nas pesquisas. Não poderia deixar de agradecer também ao Sr. Itamar José de Almeida (amigo que me deu um rumo na escolha para estudar este curso no qual me formo, Tecnóloga em Sistemas Elétricos).

Registro ainda, meus sinceros agradecimentos aos meus amigos pela paciência, pela amizade e pelos ensinamentos que levarei para sempre.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, os quais desejo que compartilhem de minha alegria neste momento tão especial.

O meu muito obrigado, por tudo!

“Tem dia que a gente põe vírgula, tem dia que colocamos reticências, tem dia que colocamos ponto final e tem dia que temos necessidade de virar a página”.

Pe. Fábio de Melo.

RESUMO

O Centro de Pesquisa Canguçu (CPC) por uma área destinada à pesquisa de sequestro de carbono, variações climáticas e atmosféricas, bem como estudo da fauna e flora locais que se caracteriza como uma Área de Preservação Permanente (APP). Para possibilitar as várias áreas de pesquisas que o Centro foi predestinado, o mesmo abriga várias instalações físicas que se constituem em laboratórios, salas de estudos e acomodações. Em função disso o Centro de Pesquisa necessita de fornecimento de energia elétrica, que no princípio era por meio de geração a diesel e em seguida passou a ser alimentado por um sistema formado por várias fontes associadas, sendo denominado sistema híbrido de geração, em detrimento da impossibilidade de uma rede de distribuição oriunda da concessionária de energia elétrica do Estado, devido trata-se de APP e estar sujeito à lei específica. Na implantação do sistema híbrido de geração de energia não foi como o projeto inicial previa, devido a alguns equipamentos já terem chegados ao Centro com defeito, bem como limitações de ordens de outros equipamentos, como os compressores para o armazenamento de hidrogênio, e cilindros que deveriam ser utilizados em células a combustível. Assim o sistema ficou restrito apenas ao uso de baterias, geração a diesel e fotovoltaica. E no princípio isso poderia incluir também geração por células a combustível de hidrogênio constituindo uma geração de caráter híbrida e sem interrupções. Neste trabalho procurou-se em dar compreensão melhor sobre a utilização desse sistema de geração híbrida de energia na situação em que se encontra no CPC, em relação a qualidade, confiabilidade e adequações nas instalações elétricas no intuito de contribuir para o melhoramento do mesmo.

Palavras-chave: Qualidade de Energia, Sistema de Geração de Energia Elétrica Híbrida, Geração de Energia Isolada.

ABSTRACT

The Canguçu Research Center (CPC) is an area dedicated to the research of carbon sequestration, climatic and atmospheric variations, as well as a study of the local fauna and flora that which does a Permanent Preservation Area (APP) characterize. In order to make possible the various areas of research that the Center has been predestined, it has several physical offices that constitute laboratories, study rooms and accommodations. As a result the Research Center needs to supply electricity, which in the beginning was by means of diesel generation and then started to be fed by a system formed by several associated sources, being called the hybrid generation system, to the detriment of Impossibility of a distribution network originating from the state power concessionaire due to the fact that it is an APP and subject to the specific law. In the implementation of the hybrid power generation system, it was not as the initial design anticipated, due to some equipment already arriving at the Center with defect, as well as limitations of orders other equipment, such as the compressors and cylinders for storage hydrogen, that should be used in fuel cells. Thus, the system was restricted only to the use of batteries, diesel generation and photovoltaic. And in the beginning, this could include generation by cells at fuel of hydrogen constituting a generation of character hybrid and without interruptions. In this work we tried to give a better understanding of the use of this hybrid energy generation system in the situation in which it is found in the CPC, in relation to the quality, reliability and adequation in the electrical installations in order to contribute to its improvement.

Key words: Power Quality, Hybrid Electric Power Generation System, Isolated Power Generation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Pag.
Figura 1 - Áreas abrangentes pela Amazônia Legal.....	2
Figura 2 - Localização do CPC em Pium no Tocantins	2
Figura 3 - Padrão construtivo peculiar às várias instalações físicas do CPC.....	4
Figura 4 - Diagrama de blocos do Sistema Híbrido de geração de energia elétrica	6
Figura 5 - Fornecimento de energia elétrica.....	8
Figura 6 - Fluxograma da Estrutura da SFE da ANEEL	9
Figura 7 - Ilustração de uma energia eficiente.....	12
Figura 8 - Visão dos Painéis solares fotovoltaicos, parte do sistema de geração do CP	15
Figura 9 - Eletrolisador responsável pela produção de hidrogênio molecular	16
Figura 10 - Cilindros de armazenamento de hidrogênio molecular	17
Figura 11 - Célula a Combustível que converte o hidrogênio em energia elétrica	17
Figura 12 - Inversores de corrente contínua em alternada	18
Figura 13 - Inversor SI4248Us monofásico	18
Figura 14 - Banco de Baterias.....	19
Figura 15 - Estrutura do sistema híbrido de geração de energia elétrica no CPC	23
Figura 16 - Representação em diagrama de blocos dos equipamentos conectados nas fontes geradoras de energia elétrica.....	24
Figura 17 - Conjunto de geradores a diesel do CPC	27
Figura 18 - Conjunto de geradores a diesel e suas respectivas potências	28
Figura 19 - Banco de baterias do CPC.....	29
Figura 20 - Placas solares do CPC	30
Figura 21 - Rede de distribuição de energia elétrica no CPC	30
Figura 22 - Cabos para transmissão de energia no CPC	31
Figura 23 - Diagrama de blocos da comutação entre as fontes geradoras de energia elétrica do CPC	32
Figura 24 - Quadro de controle para chaveamento entre fontes	32
Figura 25 - Proteção da fonte geradora a diesel	34
Figura 26 - Proteção contra descargas atmosféricas no CPC – para-raio tipo Franklin	35

Figura 27 - Quadro dos circuitos elétricos do CPC.....	35
Figura 28 - Gráfico da potência ativa das cargas do CPC	45
Figura 29 - Gráfico da potência reativa das cargas do CPC.....	45
Figura 30 - Comparação de amplitudes entre as potências ativa e reativa das cargas do CPC.....	46
Figura 31 - Fator de potência das cargas do CPC	47
Figura 32 - Gráfico de variação da THD% do sistema elétrico do CPC	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quadro de cargas instaladas no CPC (Térreo)	36
Tabela 2 - Quadro de cargas instaladas no bloco I do CPC	37
Tabela 3 - Quadro de cargas instaladas no bloco II do CPC	38
Tabela 4 - Quadro de cargas instaladas no bloco III do CPC	39
Tabela 5 - Quadro de cargas instaladas no bloco IV do CPC	39
Tabela 6 - Quadro de cargas instaladas nos bangalôs do mato do CPC	40
Tabela 7 - Variação da tensão por horário.....	41
Tabela 8 - Amostragens da potência reativa realizadas entre os dias 15 e 16/03/2015.....	43
Tabela 9 - Amostragens da potência ativa realizadas entre os dias 15 e 16/03/2015.....	44
Tabela 10 -THD% amostradas entre os dias 15 e 16/03/2015.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APP	Área de Preservação Permanente
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CaC	Células a Combustível
CC	Corrente Contínua
CO₂	Dióxido de Carbono
CH₄	Gás Metano
CPC	Centro de Pesquisa Canguçu
Celtins	Companhia de Energia Elétrica do Estado do Tocantins
Energisa	Companhia de Energia Elétrica do Estado do Tocantins S/A
GMG	Grupo Motor Gerador
Hz	Hertz
IE	Instituto Ecológico
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins.
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.
MME	Ministério de Minas e Energia
Nm³/h	Normal metro cúbico por hora
kW	<i>kilowatt</i>
kWp	kilowatt-peak
kVA	<i>kilovoltampère</i>
OSCIP	Organização da Sociedade Civil de Interesse Público
Psi	Unidade de pressão no sistema inglês/americano
Psia	Análise de Impactos Sociais e na Pobreza
RPPN	Reserva Particular de Preservação Natural
Slpm	<i>Standard liter per minute</i>

UFT	Universidade Federal do Tocantins
VCA	Voltagem em Corrente Alternada
VCC	Voltagem em Corrente Continua

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	O Centro de Pesquisa Canguçu (CPC)	1
1.2	A Geração de Energia Elétrica no CPC	5
1.3	Qualidade de Energia	7
1.3.1	Conceito.	7
1.3.2	O Fornecimento da Energia Elétrica.	7
1.3.3	Como Funciona a Fiscalização da ANEEL para QEE	9
1.3.4	Prodist	9
1.3.5	Qualidades do Produto	11
1.3.5.1	Qualidades do serviço	11
1.3.5.2	Conjunto de unidades consumidoras	11
1.3.6	Qualidade de Energia do Sistema Energético do CPC com Base no Prodist	12
1.3.6.1	Transitórios	12
1.4	Sistemas Híbridos de Geração de Energia	14
1.4.1	Estratégia Operacional do Sistema Híbrido de Geração de Energia do CPC.	14
1.5	Problemática	19
1.6	Justificativa	20
1.7	Objetivo	20
1.7.1	Objetivos Gerais	20
1.7.2	Objetivos Específicos	20
1.8	Metodologia	21
2	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
3	O SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CENTRO DE PESQUISA CANGUÇU	21
3.1	As Fontes Geradoras de Energia Elétrica do CPC	22
3.1.1	A Implantação do Sistema de Energia Elétrica do CPC	22
3.1.2	Estruturação das Fontes Geradoras de Energia Elétrica no Centro de Pesquisa Canguçu.	22
3.1.2.1	Características técnicas do Sistema Fotovoltaico	25
3.1.2.2	Característica técnica do Sistema de Células a Combustível- CaC	26
4	CONDIÇÕES ATUAIS DO SISTEMA ELÉTRICO DO CPC	26
4.1	Fontes Geradoras do Sistema Elétrico do CPC	27
4.1.1	O Grupo Motor Gerador (GMG)	27

4.1.2 Banco de Baterias	28
4.1.3 Células Fotovoltaicas	29
4.2 Distribuições e Instalações Elétricas no CPC.....	30
4.2.1 Redes Elétricas no CPC.....	30
4.2.2 Comutação entre as Redes de Distribuição de Energia do CPC	31
4.2.3 Sistema de Proteção das Redes de Distribuição do CPC	32
4.2.4 As instalações Elétricas do CPC	35
4.2.4.1 Cargas instaladas da área frontal - (vide Tabela 1)	36
4.2.4.2 Cargas instaladas do bloco I - (vide Tabela 2)	37
4.2.4.3 Cargas instaladas do bloco II - (vide Tabela 3)	38
4.2.4.4 Cargas instaladas do bloco III - (vide Tabela 4)	39
4.2.4.5 Cargas instaladas do bloco IV - (vide Tabela 5).....	39
4.2.4.6 Cargas instaladas dos bangalôs do mato - (vide Tabela 6)	40
5 ANÁLISES E CONCLUSÕES	40
5.1 A Qualidade da Energia Fornecida ao CPC.....	40
5.1.1 Comportamento da Tensão no Sistema Elétrico do CPC	41
5.1.2 Comportamento das Potências Ativa e Reativa do CPC.....	42
5.1.3 Níveis de Harmônicos no Sistema Elétrico do CPC	47
5.1.4 Confiabilidade do Sistema Elétrico do CPC	49
5.1.5 O Sistema de Proteção do CPC.....	49
5.2 Conclusão	49
5.2.1 Concepções Finais do CPC	50
5.2.1.1 Geração de energia no CPC	50
5.2.1.2 Fonecimento de energia elétrica no CPC.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 INTRODUÇÃO

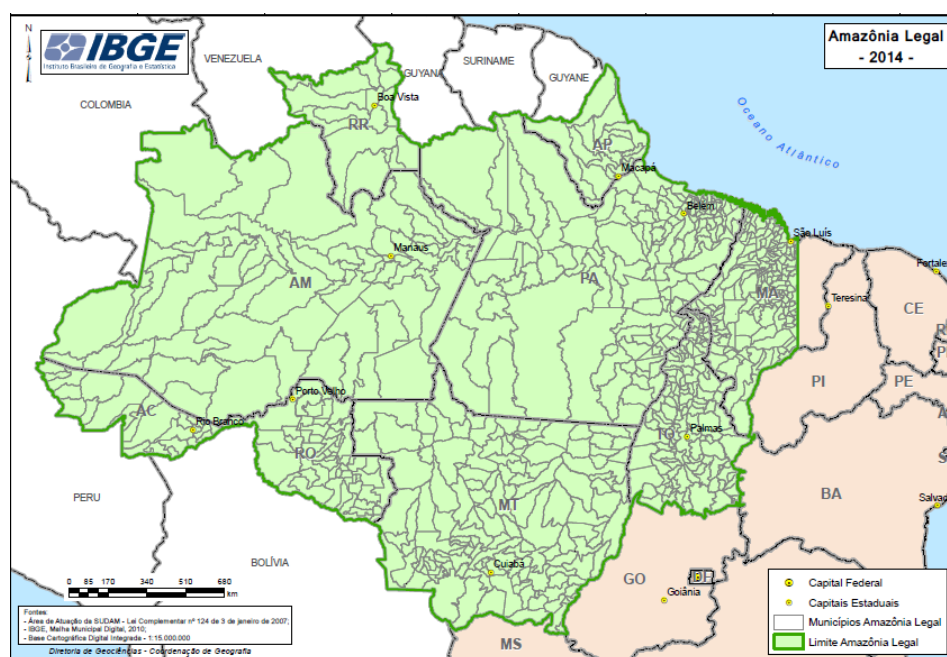
Uma das grandes preocupações atuais em relação ao meio ambiente é o aumento da quantidade de gás carbônico que vem se acumulando na atmosfera e causando o efeito estufa. E muitas nações estão se empenhando para tentar reduzir as emissões de CO₂ (dióxido de carbono) e CH₄ (metano) com vários acordos firmados, como por exemplo: a Convenção de Viena que culminou com o Protocolo de Montreal em 1987 (que trata sobre a Camada de Ozônio), a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e a ECO 92 (com o objetivo de reduzir a degradação do meio ambiente e com preocupação do bem estar para as futuras gerações), acordo de Quioto de 1997 em Toronto, entre outros.

No Brasil, um dos centros de pesquisas destinado a estudos de sequestro de Carbono, variações climáticas e atmosféricas bem como a fauna e flora locais é o CPC – Centro de Pesquisa Canguçu que se enquadra como APP - Área de Preservação Permanente.

1.1 O Centro de Pesquisa Canguçu (CPC)

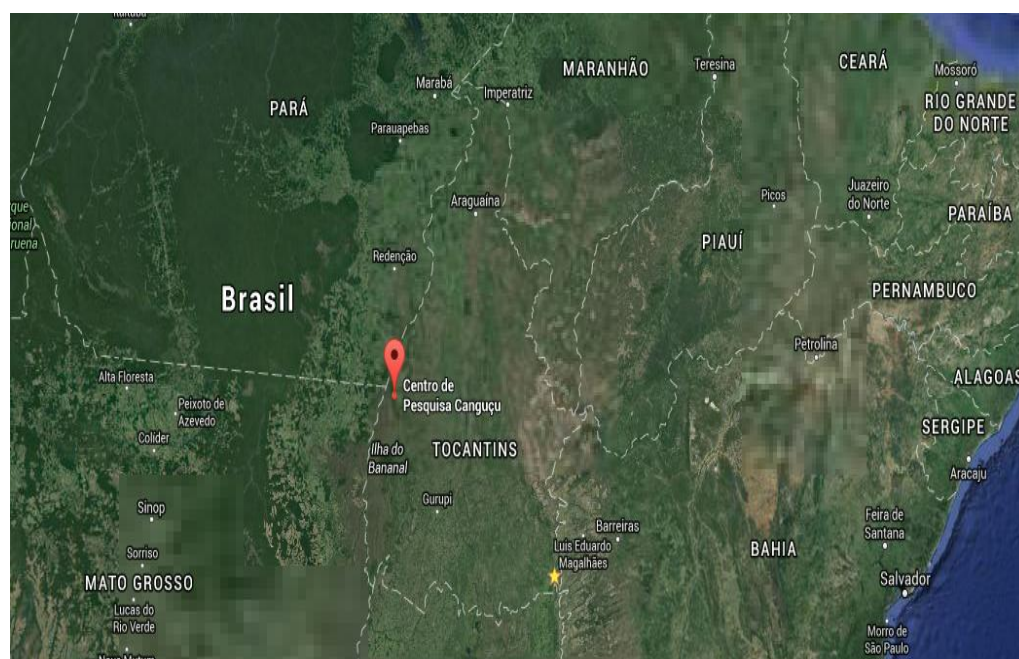
O Centro de Pesquisa Canguçu (CPC) está localizado na Amazônia Legal, na região sudoeste do Estado do Tocantins, no município de Pium, a 246 km de Palmas, entre o Parque Nacional do Araguaia e o Parque Estadual do Cantão. Na Figura 1 é mostrada a Amazônia Legal e Figura 2 a localização, via satélite, do CPC.

Figura 1 - Áreas abrangentes pela Amazônia Legal



Fonte: IBGE (2016)

Figura 2 - Localização do CPC em Pium no Tocantins



Fonte: Google Maps(2015)

O CPC foi implantado em 05 de agosto de 1988 pelo Instituto Ecológico (IE) e é uma criação OSCIP – Organização da Sociedade Civil de Interesse Público, para atuar na área de pesquisa relacionada ao meio ambiente visando o monitoramento do clima e a busca pela sustentabilidade.

O CPC, por apresentar característica ecotonal¹, está localizado em uma região de elevado interesse científico, tecnológico, econômico e social onde se desenvolve vários projetos, como por exemplo, a “Análise do Sequestro de Carbono” - um processo de remoção de gás carbônico. Esse projeto ficou conhecido como o primeiro a ser desenvolvido e foi financiado pela instituição britânica *AES Barry Foundation* em 1998, com o objetivo geral de reduzir o índice de desmatamento e reflorestar áreas degradadas, avaliando a quantidade de carbono retida em diversos tipos de vegetação. Tal processo ocorre principalmente em oceanos, florestas e outros locais onde os organismos, por meio de fotossíntese, capturam o carbono e lançam oxigênio na atmosfera.

O objetivo principal do CPC é o de melhorar a qualidade de vida das populações em sua área de influência, gerar informações científica e tecnológicas necessárias aos projetos ligados ao meio ambiente, com especial atenção à região ecotonal, além de subsidiar aulas práticas de Graduação, Pós-Graduação e Pesquisa e também abranger projetos de pesquisas científicas ligadas às mudanças climáticas e a biodiversidade e, tecnológicas relacionadas a sistemas híbridos de geração de energia elétrica.

A partir de 2003, o Instituto Ecológico estabeleceu parceria estratégica com a Universidade Federal do Tocantins (UFT), que atualmente gerencia o Centro e desenvolve diversas atividades voltadas ao desenvolvimento sustentável na região por intermédio de pesquisas científicas e educação ambiental.

A construção do CPC foi feita por meio de palafitas (vide Figura3), (sistema construtivo usado em edificações localizadas em regiões alagadiças) uma vez que se situa nas margens do Rio Javaés, na Ilha do Bananal.

¹Zona de transição entre mata atlântica, cerrado e pantanal.

Figura 3 - Padrão construtivo peculiar às várias instalações físicas do CPC



As instalações físicas do CPC são compostas de:

- Laboratórios;
- Sala de estudos;
- Sala de TV;
- Apartamentos com banheiros internos;
- Cozinha;
- Refeitório;
- Lavabos;
- Galpões que abrigam as fontes geradoras de energia elétrica.

Para as instalações citadas acima foi feito um projeto com implementação piloto de geração distribuída de energia elétrica por meio de um sistema híbrido que combinou a geração fotovoltaica com célula a combustível (CaC) e baterias eletroquímicas. O projeto e sua execução contaram com o apoio financeiro do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e do Ministério de Minas e Energia (MME).

O projeto e a implementação do sistema de energia visou o abastecimento das cargas isoladas e a redução de custos financeiros futuros, bem como, acomodar todos os benefícios provenientes de um sistema de energia

renovável com a introdução de geração de hidrogênio de acordo com as disponibilidades, conforme listados abaixo:

- ✓ Estrutura física voltada para pesquisas científicas que dão embasamento aos projetos desenvolvidos pelo Instituto Ecológico nas áreas das Mudanças Climáticas e Sequestro de Carbono;
- ✓ Geração de informações científicas (como por exemplo, o Sequestro de Carbono em decorrências de Mudanças Climáticas) e tecnológicas.
- ✓ Busca do desenvolvimento sustentável;
- ✓ Promoção de melhoria da qualidade de vida de comunidades em sua área de influência;
- ✓ Linha de pesquisa para avaliação da mudança de uso da terra na região da Ilha do Bananal e seu entorno no período de 1986 a 1998;
- ✓ Análises de estoques de Carbono em função da biomassa vegetal da região, estudo de teores de Carbono das diferentes formações na Ilha do Bananal;
- ✓ Pesquisas de estoques e fluxos de carbono em formações florestais na região ecotonal;
- ✓ Dimensão humana nos projetos de mitigação das mudanças climáticas;
- ✓ Pesquisa de geração de energia de um sistema híbrido – Geração Fotovoltaica e Célula a Combustível.

1.2 A Geração de Energia Elétrica no CPC

Com o passar dos anos, a energia elétrica vem se confirmando como base para o desenvolvimento da civilização, pois as necessidades energéticas são cada vez mais visíveis em seu consumo e serviço, fortalecendo o progresso econômico, social e cultural.

Os Investimentos tecnológicos para as gerações de energia elétrica são primordiais para qualquer tentativa de desenvolvimento de uma região ou localidade. Em se tratando de geração de energia elétrica para atender comunidades isoladas, a geração de energia autônoma é vital, pois até a manutenção se torna bem mais compreensível pelo próprio local. Neste caso específico, os fatores sobre a estrutura do processo de instalação são os que demandam maiores investimentos, pois os equipamentos utilizados tem um valor aquisitivo ainda muito elevado para as

civilizações isoladas. Os problemas ligados à infraestrutura nestas localidades vão desde a geração de energia elétrica até uma rede de saneamento básico e distribuição de água, ou no mínimo a construção de um poço artesiano.

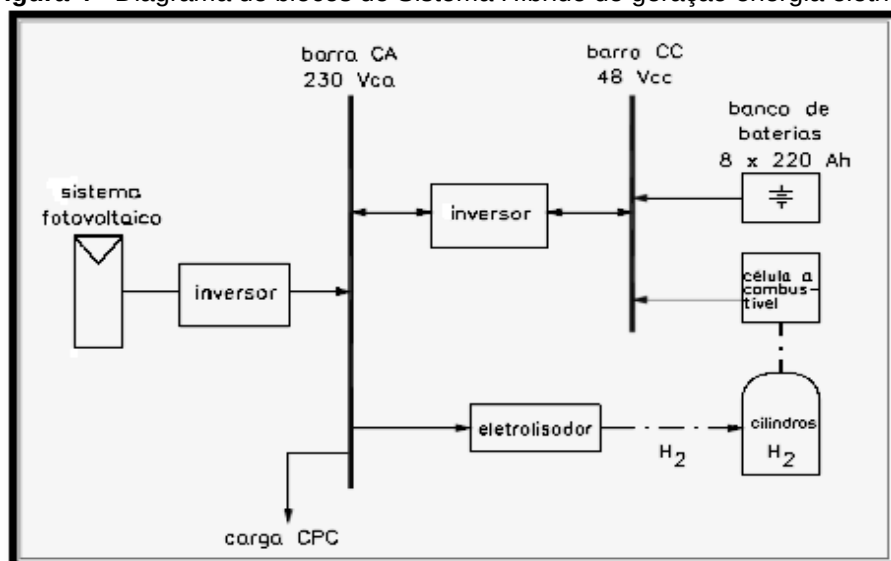
A preocupação constante com o desenvolvimento sustentável está levando com que as civilizações em pequenas localidades, onde a rede energia elétrica ainda não passa de um projeto, seja realizável, fazendo com que a geração de energia autônoma se torne a mais provável de ser implantada.

Em 2008, muitos países – inclusive o Brasil – mantinham programas oficiais para expansão das chamadas fontes renováveis de energia que são aquelas que contam com recursos não esgotáveis, ou recursos naturais e que são capazes de manterem-se disponíveis durante um longo prazo, contando com a regeneração ou que se mantêm ativos permanentemente.

O Centro de Pesquisa Canguçu – CPC por se tratar de uma Área de Preservação Permanente (APP) e está em conformidade com o Decreto Nº 4.771 de 15 de Setembro de 1965, referente ao Código Florestal, não poderá haver a construção de rede elétrica, pois haveria necessidade de desmatamento florestal.

No início de 1988 a geração de energia elétrica no CPC era fornecida por meio de um gerador a diesel da Energisa, intitulada na época como Celtins. Em janeiro de 2007 a geração de energia elétrica passaria a ser fornecida por um sistema híbrido de geração autônoma constituída por células fotovoltaica, célula a combustível e baterias como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Diagrama de blocos do Sistema Híbrido de geração energia elétrica



Fonte: ALBUQUERQUE, F.L. (2008)

1.3 Qualidade de Energia

Com o crescimento da geração de energia elétrica, cresceu o número de consumidores que utiliza a energia elétrica. A ANEEL, para manter um fornecimento de energia com eficiência e regularização das distribuidoras de energia elétrica, tanto quanto as geradoras de energia, passou a ser a principal agência de regulação do país. Assim, para preservar um bom fornecimento de energia elétrica a ANEEL estabeleceu procedimentos relativos a qualidade de energia elétrica – QEE, abordando a qualidade do produto e qualidade do serviço prestado.

O termo qualidade de energia elétrica aparece no momento em que os consumidores constatarem que existem interrupções no fornecimento trazendo transtornos e perdas. Pode-se dizer que a Qualidade de Energia é um conjunto de fatores estabelecidos para aperfeiçoar o fornecimento de energia e levar os níveis aceitáveis às condições ideais para o consumo. Como os benefícios da energia elétrica fazem parte do dia a dia das pessoas, é natural que a discussão sobre a qualidade do produto esteja em foco.

1.3.1 Conceito.

De acordo com vários especialistas, conceitua-se a Qualidade de Energia como um conjunto de alterações que podem ocorrer no sistema elétrico, ou até mesmo um problema manifestado na tensão, corrente ou na variação de frequência que resulte em falha da operação do sistema elétrico.

Uma das principais atribuições das geradoras de energia elétrica é uma geração confiável, que possa atender os consumidores regularmente sem interrupções, uma qualidade de energia com segurança e de forma econômica de transmissão da eletricidade para os usuários.

1.3.2 O Fornecimento da Energia Elétrica.

As diversas fontes de energia elétricas são transmitidas por uma complexa rede de linhas aéreas e até por cabos subterrâneos com propósito de alcançar o principal alvo, os consumidores. A Figura 5 mostra, de forma simplificada,

o processo, desde a geração (1), passando por uma subestação de elevação da tensão (2), pelo seu transporte por longas linhas de transmissão, até as áreas onde há a sua necessidade nos centros consumidores. Uma vez neste ponto, o nível de tensão é rebaixado por outra subestação (3) sendo que as linhas do sistema de distribuição (4) encarregam-se de direcionar a energia elétrica até as residências.

Para tal funcionamento deste processo é importante ressaltar que alguns limites operacionais estejam sendo observados, tanto ao nível de transmissão como o de distribuição. Para que isso aconteça de forma regular são necessárias medidas de controle e de acompanhamento tanto dos órgãos de fiscalização como das concessionárias fornecedoras de energia. Isto está condicionado ao fato de que, tanto os sistemas de distribuição como de transmissão estão constantemente sujeitos a ocasionais variações de tensão. Estas variações, mesmo dentro de limites pré-estabelecidos, podem causar operações incorretas de sensíveis equipamentos elétricos nos diversos setores.

Figura 5 - Fornecimento de energia elétrica



Fonte: SUA PESQUISA (2016)

As principais grandezas a serem avaliadas para se manter as condições mínimas de operação de um sistema elétrico são a frequência e a tensão, onde a frequência deve estar situada na faixa de 60Hz tendo 0,5Hz para mais ou para menos, já a tensão deve-se observar três aspectos:

- Forma de onda, a qual deve ser mais próxima possível de uma senóide;
- Simetria do sistema elétrico;

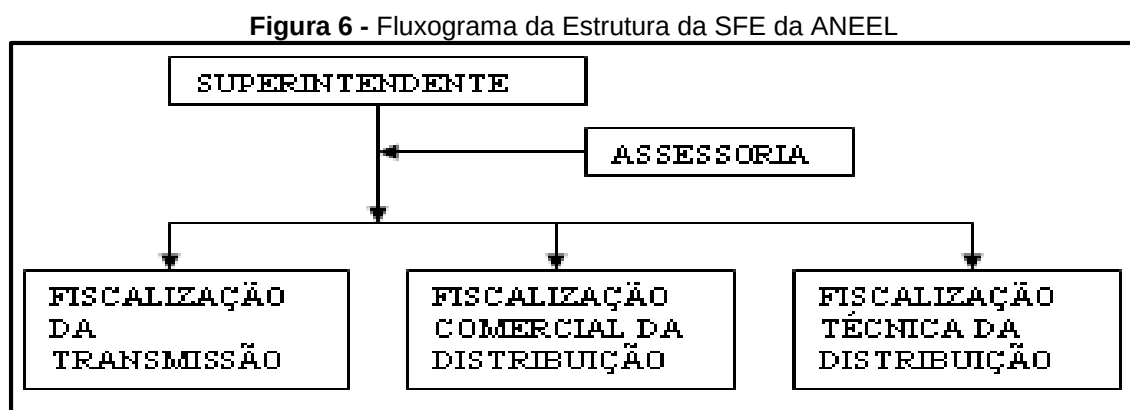
- Magnitudes das tensões dentro de limites aceitáveis.

As interrupções, distorções harmônicas, flutuações de tensão, oscilações, ruídos, sobretensões, subtensões, etc., são as causas mais prováveis dos aspectos citados acima.

Ainda há alguns fenômenos naturais que podem ocasionar alterações na qualidade do fornecimento de energia elétrica, como, por exemplo, descargas elétricas, tempestades, salinidade da água do mar etc.

1.3.3 Como Funciona a Fiscalização da ANEEL para QEE

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) é o órgão regulador que estabelece metas de melhoria de continuidade no fornecimento de energia elétrica, tem o papel de promover a qualidade da energia, regulamentar os padrões e garantir o atendimento aos mesmos, zela direta e indiretamente pela observância da legislação (a mesma pode punir quando necessário), assim como define os indicadores para acompanhamento do desempenho das concessionárias. A visão do Sistema de Fiscalização de Energia (SFE) pressupõe uma atuação de natureza preventiva e educativa, de forma a garantir a prestação de serviços adequados pelos agentes. A SFE inspeciona os diversos aspectos da qualidade do produto – energia elétrica – a qualidade do serviço prestado aos consumidores, para uma sequência de fiscalização que segue uma estrutura de acordo com a Figura 6.



Fonte: ANEEL (2015)

1.3.4 Prodist

O Prodist (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) são documentos elaborados pela ANEEL que normatizam e

padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica. O mesmo estabelece os procedimentos relativos a qualidade da energia elétrica QEE, abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço prestado.

- Qualidade do produto - é o módulo do Prodist que define a terminologia, caracteriza os fenômenos, parâmetros e valores de referência relativos à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda de tensão, estabelecendo mecanismos que possibilitem à ANEEL fixar padrões para os indicadores de QEE.

- Qualidade dos serviços prestados - é o módulo do Prodist que estabelece a metodologia para apuração dos indicadores de continuidade e dos tempos de atendimento a ocorrências emergenciais, definindo padrões e responsabilidades.

O texto apresentado a seguir foi retirado do Módulo 8 da ANEEL, o PRODIST: “Continuidade na Qualidade do Produto”, Qualidade da Energia Elétrica. p. 16 a 53, Seção 8.0 a 8.4.

De acordo com a ANEEL é nesse módulo 8, “onde se estabelece os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica – QEE”, abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço prestado. Para a qualidade do produto, este módulo regulariza a terminologia, caracterizam os fenômenos, parâmetros e valores de referência relativos à conformidade de tensão em regime permanente e as perturbações na forma de onda de tensão, estabelecendo mecanismos que possibilitem à ANEEL fixar padrões para os indicadores de QEE.

Para a qualidade dos serviços prestados, é o módulo do Prodist que estabelece a metodologia para a apuração dos indicadores de continuidade e dos tempos de atendimento a ocorrências emergenciais, definindo padrões e responsabilidades. Este módulo é constituído por:

- ✓ Seção 8.0 – Introdução;
- ✓ Seção 8.1 - Qualidade do Produto;
- ✓ Seção 8.2 - Qualidade do Serviço;
- ✓ Seção 8.3 - Disposições Transitórias.

1.3.5 Qualidades do Produto

Esta seção caracteriza os fenômenos de QEE, estabelece os critérios dos valores de referência e os procedimentos relativos à qualidade do produto. O valor utilizado para comparação com os valores de tensão obtidos por medição, seja o nominal ou o contratado, deve ser denominado “tensão de referência”. Para chegar em tensão de referência o módulo Prodist segue alguns fatores como:

- Análise da Qualidade do Produto;
- Conjunto de Unidades Consumidoras;
- Análise do Fator de Potência;
- Análise da Quantidade Relativa de Harmônicos.

1.3.5.1 Qualidades do serviço

O Prodist estabelece procedimentos relativos à qualidade do serviço prestado pelas demais Instalações de distribuição aos consumidores e distribuidoras. Define indicadores e padrões de qualidade de serviço de forma a fornecer mecanismos para acompanhamento e controle do desempenho das distribuidoras; fornecer subsídios para os planos de reforma, melhoramento e expansão da infraestrutura das distribuidoras; oferecer aos consumidores parâmetros para avaliação do serviço prestado pela distribuidora.

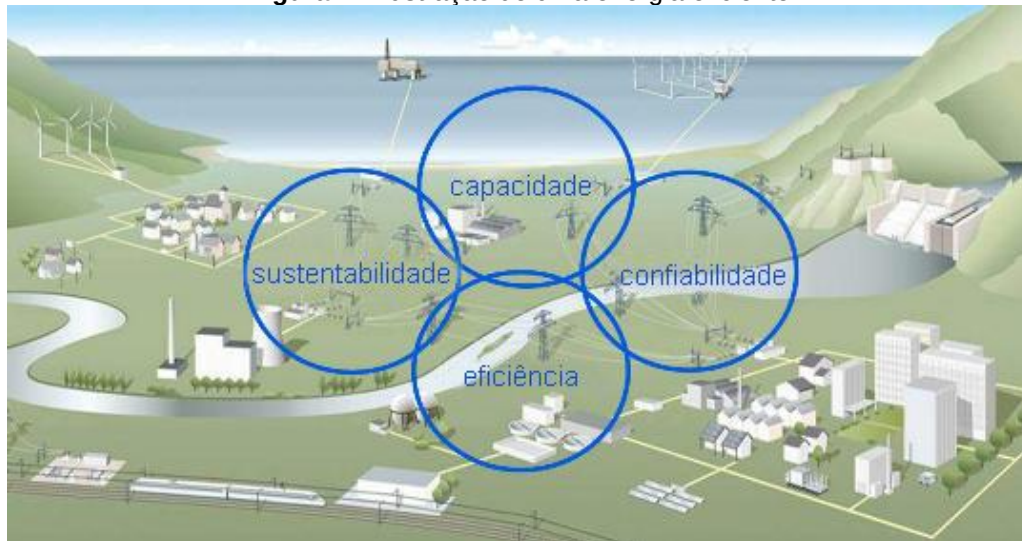
1.3.5.2 Conjunto de unidades consumidoras

Não poderão ser agrupadas, em um mesmo conjunto, unidades consumidoras situadas em áreas não contíguas. Para estabelecer o padrão dos indicadores de continuidade, o conjunto definido deverá permitir a identificação geográfica das unidades consumidoras. Quando um conjunto for subdividido ou reagrupado, deverão ser definidos padrões de continuidade considerando-se os novos atributos e histórico dos conjuntos que deram origem à nova formação.

A ANEEL, a qualquer momento, poderá solicitar à distribuidora a revisão da configuração dos conjuntos de unidades consumidoras. A distribuidora poderá propor revisão da configuração dos conjuntos de unidades consumidoras, quando do

estabelecimento das metas anuais. Na Figura 7 faz-se uma demonstração dos deveres de um fornecimento favorável a uma boa qualidade do serviço prestado.

Figura 7 - Ilustração de uma energia eficiente



Fonte: SUA PESQUISA (2015)

1.3.6 Qualidade de Energia do Sistema Energético do CPC com Base no Prodist

Neste capítulo, será pré-definido o modelo das características para um fornecimento de energia elétrica no CPC com a qualidade aceitável para um consumo, dentro das Normas já referenciadas neste trabalho. Serão observados problemas relacionados aos itens abaixo.

1.3.6.1 Transitórios

Manifestações ou respostas elétricas nos locais ou nas adjacências oriundas de alterações súbitas nas condições operacionais de um sistema de energia elétrica proposto.

Existem dois fenômenos transitórios que são classificados em transitórios impulsivos e oscilatórios, causados por chaveamentos:

- a) Os Transitórios Impulsivos, causado muitas vezes por descargas atmosféricas, podem ser definidos como uma alteração repentina nas condições de regime permanente da tensão e corrente ou ambas, caracterizando-se por apresentar impulsos unidirecionais em

polaridade (positivo ou negativo) e com frequência bastante diferente daquela da rede elétrica.

b) Os Transitórios Oscilatórios são caracterizados por uma alteração repentina nas condições de regime permanente da tensão e/ou corrente possuindo valores de polaridade positiva e negativa assim como, uma baixa de frequência que são frequentemente encontrados decorrentes dos momentos as seguir:

- ✓ Energização de linha;
- ✓ Corte de corrente indutiva;
- ✓ Eliminação de faltas;
- ✓ Chaveamento do sistema.

1.3.6.2 Variações de longa e curta duração na tensão

As variações de tensão de longa e curta duração podem ser caracterizadas por alterações instantâneas, momentâneas ou temporárias, dependendo da duração. Isso pode acontecer durante a comutação de um sistema de geração para outro.

1.3.6.3 Desequilíbrios de tensão

Definido como o desvio máximo dos valores médios das tensões ou correntes trifásicas, dividido pela média dos mesmos valores, expresso em percentagem.

As origens destes desequilíbrios estão geralmente nos sistemas de distribuição, os quais possuem cargas monofásicas distribuídas inadequadamente, fazendo surgir no circuito tensões de sequência negativa, causando uma má distribuição de carga em seus circuitos internos, impondo correntes desequilibradas no circuito, que pode resultar em queima de equipamentos elétricos.

Os fatores abordados a seguir, são os mais afetados pelo desequilíbrio da tensão (interferem diretamente na qualidade da energia):

- a) amplitudes diferentes;
- b) assimetria nas fases.

c) assimetria conjunta de amplitudes e fases de carga.

1.3.6.4 Harmônicos

Diferente de fenômenos de curta duração, os efeitos harmônicos são distorções de tensões ou correntes senoidais de frequências múltiplas inteiras da frequência fundamental na qual opera o sistema de energia elétrica. Estas frequências harmônicas distorcem as formas de onda da tensão e corrente e são oriundos de equipamentos e cargas com características não-lineares instalados no sistema de energia.

Dois problemas que são responsáveis pela natureza e a magnitude das distorções harmônicas geradas por cargas não lineares são:

- a) Os equipamentos que causam harmônicos de ordem ímpares;
- b) A magnitude da corrente harmônica diminui com o aumento da frequência.

1.4 Sistemas Híbridos de Geração de Energia

Os sistemas híbridos de geração de energia são constituídos de duas ou mais fontes de geração. Essas fontes podem ou não ser conectadas à rede convencional de energia elétrica.

Um exemplo de um sistema híbrido de geração de energia elétrica pode ser a combinação de energia fotovoltaica com célula a combustível e geração a diesel. Esse tipo de sistema pode ser explorado em algumas localidades onde não há disponibilidade da rede convencional de energia elétrica.

1.4.1 Estratégia Operacional do Sistema Híbrido de Geração de Energia do CPC.

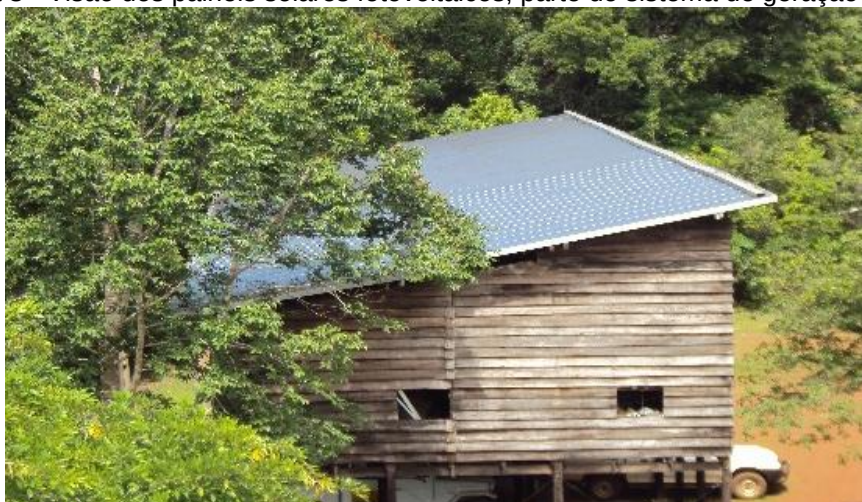
O funcionamento operacional do sistema híbrido, de acordo com a Figura 08, na sua normalidade de irradiação solar, operaria da seguinte forma: O SFV (Sistema Fotovoltaico) alimentaria a carga do CPC, e o excedente energético alimentaria um Eletrolisador, produzindo hidrogênio que seria armazenado em cilindros de gases industriais (usado nas CaC), carregaria um banco de baterias, que permaneceria em modo *standby*.

Na situação em que o SFV não estaria apto a fornecer toda a energia requerida pela carga, o Eletrolisador seria desligado e a CAC (Células a Combustível) iniciaria imediatamente a operação para gerar a energia elétrica a partir do hidrogênio armazenado, parando de funcionar quando o SFV recuperasse a sua capacidade de suprimento ou acabasse o estoque de hidrogênio. No caso contrário, se o SFV não estivesse apto a abastecer a energia requerida pela carga e não houvesse hidrogênio suficiente armazenado, a carga seria suprida pelo banco de baterias, enquanto houvesse energia suficiente para isso. As baterias também são necessárias para gerar um sinal de referência para os inversores que são conectados a ela e as CAC.

As partes constituintes do sistema híbrido de geração de energia do CPC com suas respectivas especificidades são:

- a. Painéis solares fotovoltaicos, constituídos por filme fino flexível de células solares de silício amorfo assentados sobre chapas de galvalume², em um total de 154 módulos de 124Wp formando um sistema com capacidade de cerca de 19kWp conectados em arranjo série-paralelo, instalados conforme a Figura 8.

Figura 8 - Visão dos painéis solares fotovoltaicos, parte do sistema de geração do CPC



²É o nome comercial dado para aços revestidos com uma camada de Al-Zn-Si, aplicada pelo processo de imersão a quente.

- b. Eletrolisador - é o equipamento responsável pela eletrólise (vide Figura 9) que possibilita a ruptura eletrolítica das moléculas de água. Este equipamento possui potência de 6kW, tensão de 230Vca, e frequência de 60Hz, tecnologia *Próton Exchange Membrane* (PEM) com capacidade máxima para produzir 1 Nm³/h de hidrogênio à 99,95% de pureza, com pressão máxima de saída de hidrogênio igual a 250psi, e consome o mínimo de 1slpm³ de água em condições tipo I pela ASTM (*American Society for Testing and Materials*).

Figura 9 –Eletrolisador responsável pela produção de hidrogênio molecular



- c. Cilindros de gases industriais - são utilizados para o armazenamento de hidrogênio produzido pelo o eletrolizador (vide Figura 10). Esses cilindros são padronizados com capacidade máxima de 2200 psi em conformidades com a norma da ABNT NBR 12176.

³Slpm – Standard Liter Per Minute

Figura 10 - Cilindros de armazenamento de hidrogênio molecular



- d. Células à combustível – responsável pela geração de energia elétrica a partir do hidrogênio quando não houver energia solar suficiente para o SFV (vide Figura 11). Essas células apresentam: potência de 5 kW, constituída de 200W cada, tensão 48Vcc, consumo de 0,9m³ de hidrogênio com pureza de 99,95% para cada quilowatt-hora produzido.

Figura 11 - Célula a Combustível que converte o hidrogênio em energia elétrica



- e. Inversores de corrente contínua em corrente alternada – são módulos responsáveis para fornecer tensão em corrente alternada para toda a instalação elétrica do CPC (vide Figura 12). Estes inversores se constituem em 8 unidades com as seguintes especificações individuais: potência de 6 kW, tensão de 48Vcc para 230Vca, 60Hz.

Figura 12 - Inversores de corrente contínua em alternada



- f. Inversores que possui tensão de saída de 120 Vca, e cada par possui suas tensões de saída em série, produzindo, por par, 240 Vca. Na saída de cada um desses inversores, a tensão nominal de 120 Vca é a tensão entre fase e neutro. Na realidade, esses inversores operam em dois pares: Mestre 1 e Escravo 1, e Mestre 2 e Escravo 2. Cada inversor, como os nomes sugerem, (vide Figura 13), a operação dos inversores escravos é dependente da operação dos respectivos inversores mestres.

Figura 13 - Inversor SI4248Us monofásico



- g. Banco de Baterias Chumbo-Ácido - é responsável pelo armazenamento de energia elétrica a partir do SFV e CAC e na ausência do fornecimento de energia de ambos alimentará os inversores tendo também o papel de manter a tensão constante no barramento CC (Figura 14). Esse banco é composto por 16 baterias com as seguintes especificações: Modelo: 12MC200, Tensão Nominal: 12V, Capacidade (20h): 200Ah, Dimensão de 512 x 211 x 233mm.

Figura 14 - Banco de Baterias



1.5 Problemática

As características esperadas de um Sistema Híbrido é a geração de energia elétrica sem interrupções. No entanto, será que a perspectiva de um bom funcionamento tem sido alcançada? A instalação elétrica do CPC tem sido satisfatória em seus aspectos de proteção e utilização? A geração de energia elétrica realmente tem atendido as cargas instaladas com possibilidade de ampliação de maior demanda? Desde a implantação do sistema híbrido de geração, as condições da geração fotovoltaica, células a combustível e o banco de baterias se mantiveram dentro das perspectivas de depreciação?

1.6 Justificativa

A análise da eficácia do funcionamento do projeto piloto do sistema híbrido implantado no CPC é de grande importância por tratar-se de sistema de geração de energia ecologicamente correto (com o aproveitamento da energia solar) e que pode ser utilizado em áreas isoladas, onde não seja possível o atendimento por rede de transmissão de energia.

As informações geradas por essa pesquisa podem auxiliar na análise do desempenho, a viabilidade econômica e a eficiência técnica desta proposta, tornando possíveis soluções para melhorar e servir de modelo para futuras instalações de sistema de mesma natureza em áreas cuja solução seja a implantação de geração de energia autônoma.

1.7 Objetivo

1.7.1 Objetivos Gerais

O objetivo deste trabalho é conhecer como está funcionando o sistema elétrico implantado no CPC e analisar suas características de cargas, geração, problemas associados e soluções adotadas.

1.7.2 Objetivos Específicos

- ✓ Mapeamento da área servida pelo sistema de energia;
- ✓ Identificar e avaliar as fontes geradoras de energia elétrica;
- ✓ Analisar as formas de controle do sistema;
- ✓ Identificar a capacidade de geração de energia;
- ✓ Avaliar a forma de transmissão de energia;
- ✓ Avaliar a forma de proteção do sistema de geração;
- ✓ Efetuar o levantamento físico das cargas;
- ✓ Avaliar a confiabilidade do sistema;
- ✓ Comparar e apresentar se o sistema proposto é rentável;
- ✓ Analisar o comportamento da corrente, tensão e potência.

1.8 Metodologia

A metodologia adotada consistiu na realização de pesquisa bibliográfica relacionada à fonte e energia independente assim como artigos, monografias e teses relacionadas ao Centro de Pesquisa Canguçu e visitas ao CPC para coleta de informações e dados técnicos a partir de equipamentos apropriados, como por exemplo: analisador de energia.

2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Neste capítulo faz-se uma apresentação dos tópicos, revisão do escopo da aplicação, descrevendo requisitos funcionais, não funcionais mostrando avanço e delimitação de todo o trabalho. O trabalho está dividido em cinco capítulos:

- Capítulo 1 - Dá ênfase ao estado atual das ferramentas utilitárias e de comunicação interna, conceitos básicos, são mostrados nesta etapa a problemática, solução proposta, objetivos e a metodologia de como foi realizado o trabalho.
- Capítulo 2 - É feita a estruturação de todo o trabalho.
- Capítulo 3 - É uma abordagem da implantação do sistema de geração elétrica no CPC, estruturação das fontes geradoras e características dos equipamentos do sistema gerador.
- Capítulo 4 - São apresentadas as condições atuais de funcionamento do sistema de geração, a instalação elétrica e as cargas instaladas.
- No capítulo 5 - São feitas as análises da geração em termos da qualidade de energia, conclusão e propostas para trabalhos futuros.

3 O SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CENTRO DE PESQUISA CANGUÇU

Neste capítulo será feita uma introdução sobre aspectos relacionados a qualidade de energia, descrição, desenvolvido e análise de várias configurações envolvendo geração, armazenamento e transformação de energia com diversos

tipos de tecnologias disponíveis com foco principal em Geração Solar e sistema de armazenamento de energia por meio de Hidrogênio.

3.1 As Fontes Geradoras de Energia Elétrica do CPC

As fontes de energias renováveis, como a solar (fotovoltaica), a eólica, a hídrica (de pequeno e médio porte), e a biomassa, mesmo tendo os custos de investimento de instalação ainda bastante elevados, para esse tipo de investimento, é essencial que a demanda elétrica seja considerável para que a energia gerada venha compensar os custos nele investido. Em outros casos, como a geração de energia conectada à rede da concessionária, este empreendimento só vem compensar os custos investidos a longo prazo.

3.1.1 A Implantação do Sistema de Energia Elétrica do CPC

Para o caso específico de geração de energia elétrica no Centro de Pesquisa Canguçu pensou-se em um Sistema Híbrido, que combinasse Geração Fotovoltaica com Células a Combustível e baterias, que pudesse atender as necessidades da demanda do Centro, visto se tratar de uma APP.

Na aquisição do material e na implantação do projeto de geração de energia elétrica no CPC houve um custo financeiro elevado (o gasto total do sistema de geração elétrica foi de R\$ 1.075.293,05, conforme [10]), pois quase todo material empregado no sistema CaC foi importado, cujas as taxas de importação foram de 60% acima do valor real dos itens, utilização de mão de obra específica e problemas de logística, por se tratar de uma região isolada e está sujeita a cheias periódicas.

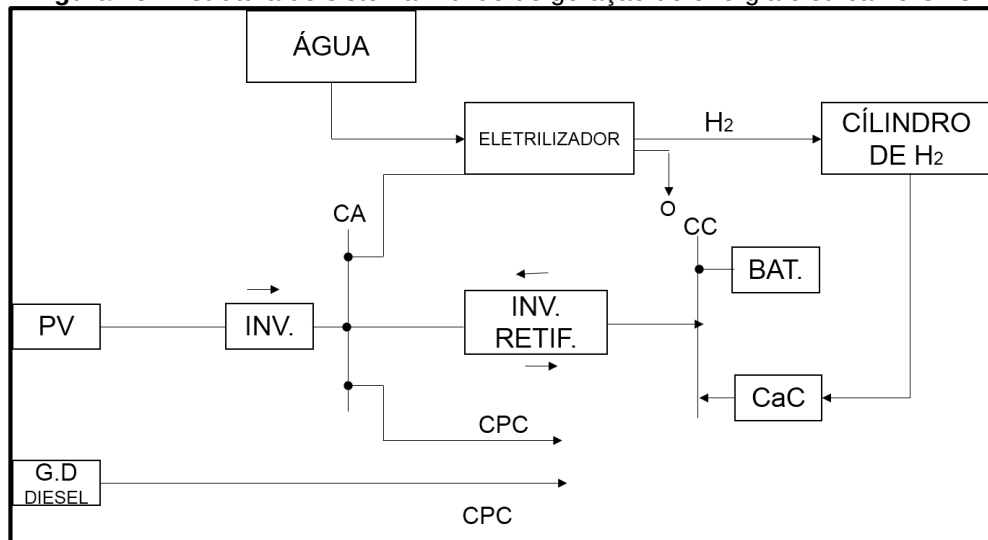
Na implantação do projeto houve a participação de alguns professores do IFTO Campus Palmas, como por exemplo: Prof. Dr. Fábio Lima de Albuquerque, Prof. Dr. Sérgio Batista Silva, Prof. Msc. Daniel Petean e o estudante do Curso de Sistemas Elétricos do IFTO Felipe Tozzi Bittencourt.

3.1.2 Estruturação das Fontes Geradoras de Energia Elétrica no Centro de Pesquisa Canguçu.

De acordo com [10] na Figura 15 é mostrado, em diagrama de blocos, como está estruturado o sistema híbrido de geração de energia elétrica, e na Figura 16,

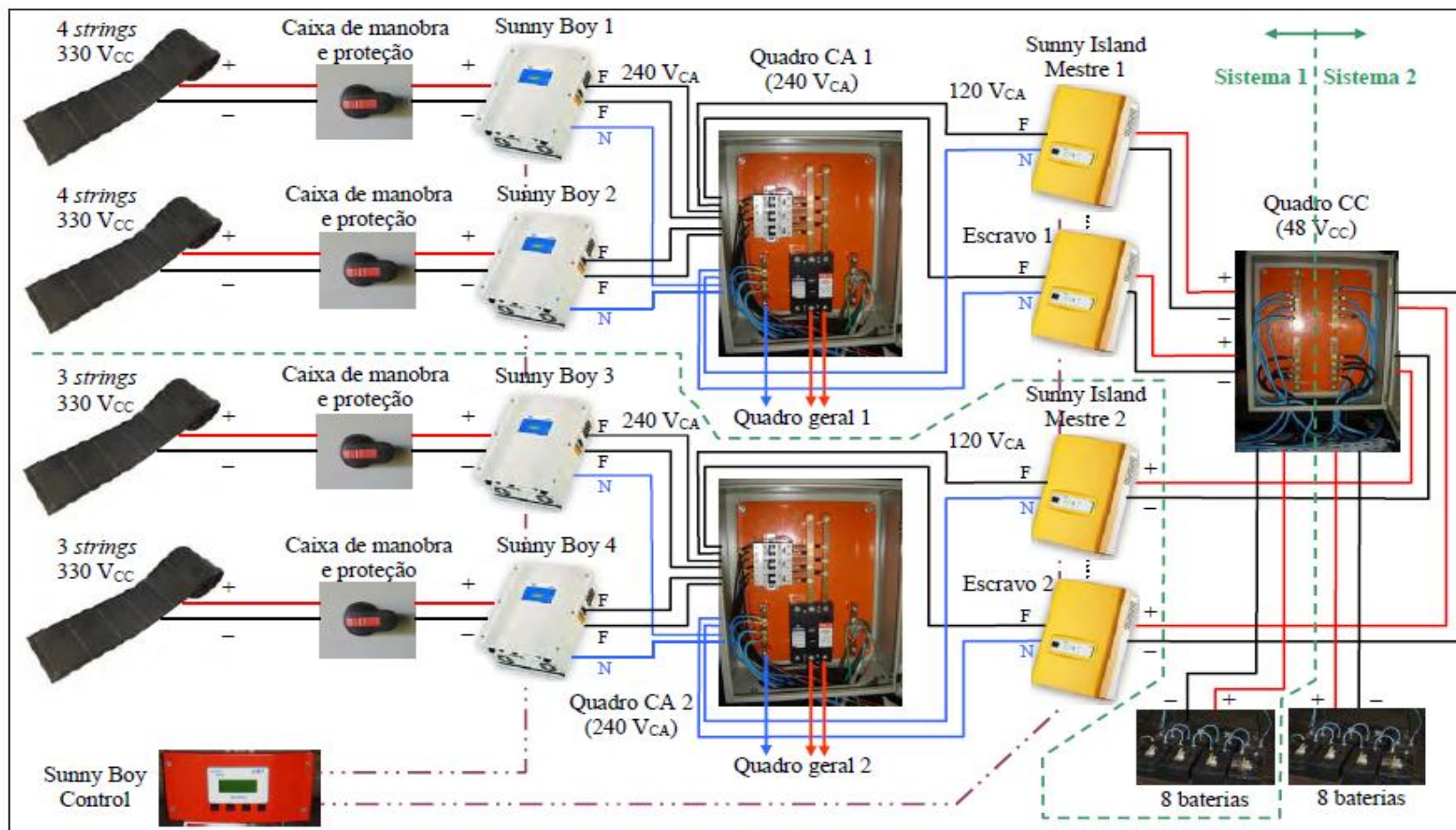
como estaria interligados os equipamentos que constituem o sistema gerador no CPC.

Figura 15 - Estrutura do sistema híbrido de geração de energia elétrica no CPC



Fonte: SEVERINO (2008).

Figura 16 - Representação em diagramas dos equipamentos conectados nas fontes geradoras de energia elétrica.



Fonte: SEVERINO (2008).

3.1.2.1 Características técnicas do Sistema Fotovoltaico

- Os módulos fotovoltaicos - fabricados pela empresa UNI-SOLAR, no modelo PVL-124. Cada módulo é constituído por 20 células fotovoltaicas com junção tripla, conectadas em série, potência nominal de 124 Wp, tensão para potência máxima igual a 30 Vcc e corrente para potência máxima sendo agrupados em *strings* de 11 módulos cada uma. Os módulos são denominados laminados (UNI-SOLAR, 2007).
- *String* em potência nominal de 5,456 kWp, e cada conjunto de três *strings*, de 4,092 kWp. Cabe informar que, das quinze *strings* fornecidas, onde 14 de 15 *strings*, estão em funcionamento.
- Caixas de proteção e manobra idênticas. Cada uma delas permite a conexão em paralelo de até quatro *strings*, com proteção por fusível de 8 A por entrada; possui corrente máxima admissível de 32 A; tem tensão nominal de isolamento de 600 Vcc; possui chave manual de manobra; e estabelece conexão segura entre o conjunto de *strings* que a alimenta e o inversor conectado à sua saída.
- Um conjunto de baterias que funciona como armazenamento formado por oito baterias de 12 V e 220 Ah cada uma, conectada com dois subgrupos em paralelo de quatro baterias conectadas em série, fornecendo tensão de saída de 48 Vcc.
- Inversor monofásico que possui tecnologia PWM senoidal, potência nominal de 6 kW, tensão nominal de entrada de 234 Vcc a 600 Vcc, tensão nominal de saída de 240 Vca e frequência nominal de saída de 60 Hz (SMA AMERICA, 2007a). Na saída de cada um desses inversores, a tensão nominal de 240 Vca é a tensão entre fases; a tensão entre fase e neutro é de 120 Vca.
- Inversor SI4248Us monofásico que possui tecnologia PWM senoidal, potência nominal de 4,2 kW, tensão nominal de entrada de 41 Vcc a 63 Vcc, tensão nominal de saída de 120 Vca e frequência nominal de saída de 60 Hz (SMA AMERICA, 2007b)
- “Sunny Boy Control”, é um equipamento fabricado pela SMA America, que se define como um controlador para sistemas fotovoltaicos que possuem

inversores Sunny Boy, cuja principal função é possibilitar o baixíssimo consumo de energia, monitorar o sistema e diagnosticar remotamente a aquisição de dados e avaliação, para gerenciamento flexível da energia com intuito de otimizar a operação do sistema

3.1.2.2 Característica técnica do Sistema de Células a Combustível- CaC

- Eletrolisador, fabricado pela *Electric Hydrogen*, Tecnologia: PEM, Suprimento elétrico: 6 kW, monofásico, 220 Vca/230 Vca e 60 Hz. Suprimento de água: água potável, preferencialmente desionizada 48, com pressão entre 40 psig e 100 psig e fluxo mínimo de 1 slpm em condições ASTM tipo, saída de hidrogênio: até 1 Nm³/h, com 99,95% de pureza e pressão máxima de 250 psia. Possui sistema substituível de purificação e de desionização da água, sensor de hidrogênio com desligamento automático e dispositivo manual de parada de emergência e interface eletrônica de comunicação e controle.
- Sistema de armazenamento de hidrogênio ou cilindros de 4,5kg de hidreto metálico a baixa pressão, capaz de absorver hidrogênio a 145 psi, são recipientes padrão que suportam pressão de até 2.200 psi, enquanto a pressão com máxima de saída de hidrogênio do eletrolisador é de 250 psi. Nelas, há dois gabinetes: o maior abriga a CaC; o menor abriga o reservatório de hidrogênio, integrado ao gabinete maior, com capacidade para até seis cilindros-padrão.

4 CONDIÇÕES ATUAIS DO SISTEMA ELÉTRICO DO CPC

Na instalação do projeto de geração híbrida de energia elétrica do CPC, a Célula a Combustível não entrou em funcionamento devido o eletrolisador ter chegado ao CPC com problemas irreparáveis. Dessa forma se utilizou e ainda vem sendo adotado um modo alternativo para a continuidade do fornecimento de energia elétrica para o centro.

A forma alternativa encontrada para manter em funcionamento o sistema de geração do CPC foi a inclusão complementar de um Grupo Motor Gerador (GMG) a diesel.

4.1 Fontes Geradoras do Sistema Elétrico do CPC

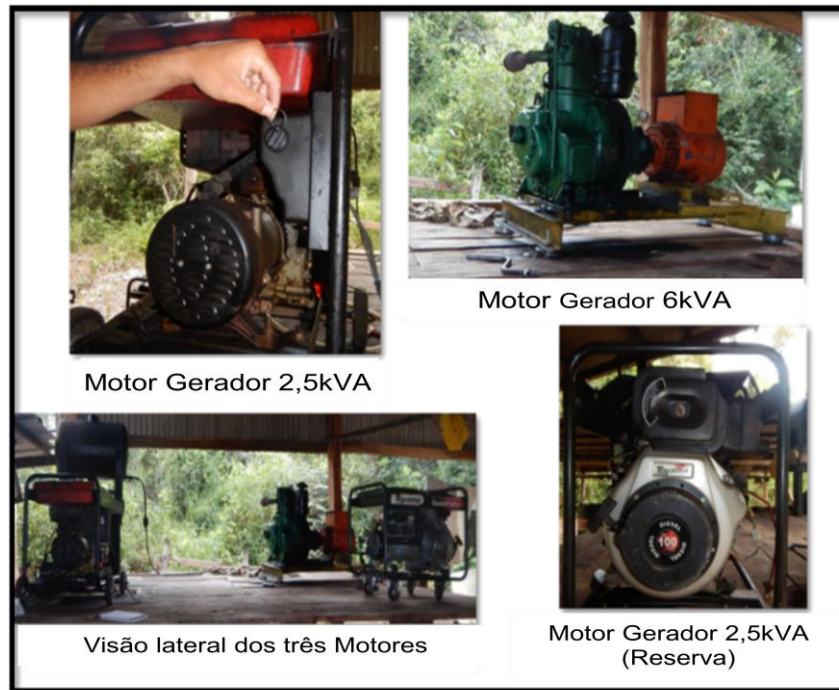
4.1.1 O Grupo Motor Gerador (GMG)

No CPC há 3 geradores a diesel, um de 6kVA e dois de 2,5 kVA que garantem a suplência da energia caso necessário (vide Figuras 17 e 18). O gerador de 6 kVA é estritamente usado em caso de necessidade de maior demanda de carga. Um dos geradores de 2,5kVA é usado quando há menor exigência de carga, sendo o outro, usado como reserva, caso os outros dois venham dar defeito.

Figura 17 – Conjunto de geradores a diesel do CPC



Figura 18 - Conjunto de geradores a diesel com suas respectivas potências



A energia elétrica por meio dos geradores à diesel é fornecida por 5 horas diárias, das 17 horas até às 22 horas, consumindo em média 3 litros de diesel por dia, nas 5 horas que se seguem. Sendo que após este horário não há fornecimento de energia no CPC. Os geradores também são eventualmente ligados em horário diurno em condições de baixa irradiação solar e quando as baterias se encontram com baixo nível de carga.

4.1.2 Banco de Baterias

Segundo [10], para atender a potência gerada de 19,096 kWh, a quantidade de baterias seria de 32 unidades, divididas em dois bancos de 16 com capacidade 564 Ah para 110,0 Ah durante 2 h. Esse dimensionamento atenderia a norma ABNT NBR 14.298:1999. No entanto o sistema está constituído de apenas 16 baterias (Vide Figura 19), dividido em banco de 8 baterias, com a vida útil podendo durar no máximo 3 anos.

Figura 19 - Banco de baterias do CPC



Modelo: 12MC200
Tensão Nominal: 12V
Capacidade (20h):
200Ah
Peso: 43,8Kg
Dimensão: 512 x 211 x
233mm

De acordo com as especificações técnicas das baterias o dimensionamento do banco é estabelecido em função da autonomia necessária do sistema e sua capacidade total de carga em CAh dada pela fórmula:

$$C_B = C_i \cdot N_B \quad (4,1)$$

Onde:

C_B - Capacidade total do banco – Ah

C_i - Capacidade individual de cada bateria – Ah

N_B - Número de baterias

Com as 16 baterias presente no sistema a capacidade total do banco, conforme (4.1) será de:

$$C_B = 16 * 200 = 3200Ah$$

4.1.3 Células Fotovoltaicas

De acordo com [10], foram adquiridos 165 módulos de placas fotovoltaicas, das quais 154 foram instaladas (Vide Figura 20), pois os 154 módulos seriam o necessário para gerar uma potência de 19,096 kWp. Com essa potência e com 32 baterias atenderia a demanda de energia elétrica do CPC.

Hoje no CPC, apenas 77 das placas estão em funcionamento com 16 baterias conectadas.

Figura 20 - Placas solares do CPC



4.2 Distribuições e Instalações Elétricas no CPC

4.2.1 Redes Elétricas no CPC

No CPC a estrutura de distribuição de energia é montada com poste de material de artefatos e cimento como mostra a Figura 21.

Figura 21 - Rede de distribuição de energia elétrica no CPC



A rede de distribuição é bifásica, constituída por 3 cabos de 16mm², cuja a tensão entre as fase de 220V e 110V entre fase e neutro (Vide Figura 22). São duas redes de distribuição vinda uma da geração a diesel e a outra do sistema fotovoltaico onde a comutação entre elas é feita de forma manual.

Figura 22 - Cabos para distribuição de energia no CPC

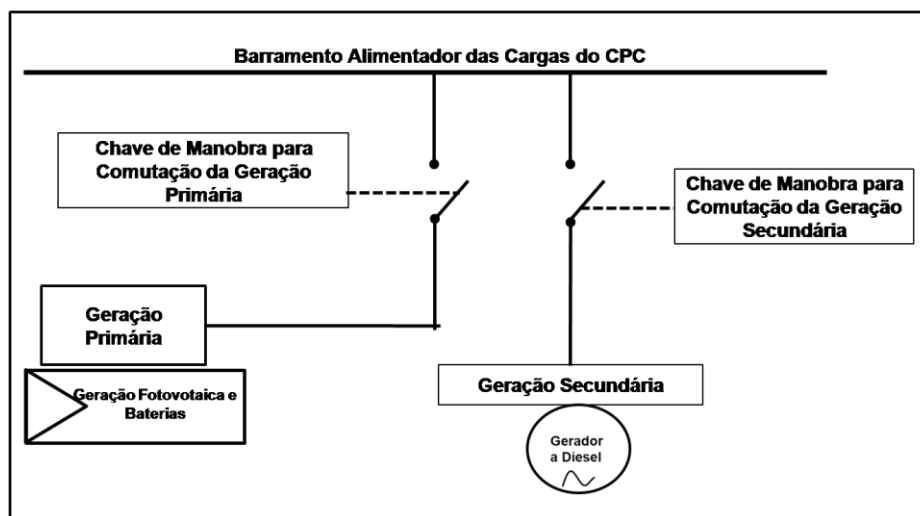


4.2.2 Comutação entre as Redes de Distribuição de Energia do CPC

De acordo com [10] para o CPC foi sugerido que a funcionalidade do controle principal fosse separado e operasse em paralelo com o sistema fotovoltaico para reduzir custo e complexidade, também sugeriu-se a utilização de CLPs. Porém, na época da implantação do sistema os controles e a aquisição de dados do *Sunny Boy Controle* dos oitos inversores conectados foram suficiente para consolidar a operação. Devido a não operação das CaC foi mantida a geração a diesel para operar em chaveamento automático. Como é mais frequente seu uso, foi sugerido e implantado o modo de operação manual, como funciona até os dias de hoje.

Na Figura 23 é mostrado a forma de comutação entre as fontes geradoras de energia elétrica do CPC.

Figura 23 - Diagrama de blocos da comutação entre as fontes geradoras de energia elétrica do CPC



Na Figura 24 é mostrado o quadro com as chaves de comutação entre as redes de distribuição, geração a diesel e sistema fotovoltaico.

Figura 24 - Quadro de controle para chaveamento entre fontes



4.2.3 Sistema de Proteção das Redes de Distribuição do CPC

O principal objetivo de um sistema de proteção de energia elétrica, seja geração, transmissão ou distribuição é isolar o mais rápido possível um trecho onde possa ocorrer uma anomalia, ou até detectar uma falha.

A NBR 5410 estabelece as seguintes prescrições fundamentais destinadas a garantir a segurança das pessoas, de animais domésticos e de bens, contra os perigos e danos que possam resultar da utilização das instalações elétricas:

- Proteção contra choques elétricos;
- Proteção contra os riscos de incêndio em materiais e proteção contra queimaduras em pessoas e animais domésticos, em consequência de temperaturas elevadas e/ou arcos elétricos;
- Proteção contra sobrecorrentes;
- Proteção contra sobretensões.

Para fazer a proteção de um sistema elétrico existe uma gama de equipamento de proteção, muitos deles com sua instalação bem simples e com custo bem favorável, e que pode deixar uma instalação elétrica confiável e segura. Dentre eles estão:

- **Chave-fusível** - opera na seguinte forma: acoplado a um cartucho no qual em seu interior está instalado o elo-fusível, que é o elemento de proteção, o qual se rompe em função das suas características tempo x corrente para garantir a interrupção da corrente elétrica.
- **Disjuntores** - tem a função de desacoplar o circuito caso venha uma corrente excessiva, e também a função de chave liga e desliga, para isso alguns requisitos são necessários: a tensão nominal do disjuntor deve ser no mínimo igual à do sistema, a capacidade de corrente do disjuntor deve ser superior a corrente máxima que possa fluir pelo disjuntor, e a capacidade de interrupção do disjuntor deve ser no mínimo igual à máxima corrente de curto-circuito no ponto de instalação do disjuntor
- **Relés** - tem uma característica técnica individual que protege o sistema contra falhas, realizando tal tarefa dentro dos limites exigidos pelos esquemas de coordenação e proteção, que podem ser: sobrecarga, sobretensão, subtensão, curto-circuito, etc.
- **SPDA** – sistema de proteção contra descargas elétricas atmosféricas, como o equipamento de para-raio. Este dispositivo

consiste com auxílio dos captosres de raios, cabos de descida, sistema de aterramento. Os tpos mais comuns para se fazer este tipo de proteção são:

- Método da haste vertical de Franklin;
 - Método da malha ou gaiola de Faraday;
 - Método eletromagnético ou das esferas rolantes.
- **O aterramento** - considerado um sistema de SPDA, tem função de dissipar no solo a corrente do raio, sem provocar tensões de passo perigosas e mantendo baixa a queda de tensão na resistência de terra.

No CPC as proteções contra curto-circuito e sobrecarga do sistema de geração fotovoltaica são constituídas de fusíveis, disjuntores e a presença dos *sunny boy* que fazem a proteção de todo o sistema. Já na geração a diesel tem-se a presença de disjuntores e fusíveis (Vide Figura 25) e com o neutro isolado como forma de proteção.

Figura 25 - Proteção da fonte geradora a diesel



A proteção contra descargas elétricas atmosféricas do CPC é feita através de para-raio do tipo Franklin conforme a Figura 26. Essa mesma estrutura abriga o sistema de telefonia do Centro.

Figura 26 - Proteção contra descargas atmosféricas no CPC – para-raios tipo Franklin



4.2.4 As instalações Elétricas do CPC

Os quadros de disjuntores e chaves dos circuitos das instalações elétricas do CPC estão localizados no quarto 1 do 1º andar da Sede. Na Figura 27 é mostrado o quadro de terminal único onde partem todos os circuitos elétricos das instalações do Centro.

Figura-27 Quadro dos circuitos elétricos do CPC



Os circuitos do quadro da Figura 36 são:

Circuito 1 – Bangalôs;

Circuito 2 - Bangalôs do Mato;

Circuito 3 - Motor da Bomba da água;

Circuito 4 – Sede.

Os circuitos 1, 2 e 4 alimentam indistintamente a iluminação, tomadas de uso geral, e as cargas instaladas, e o circuito 3 alimenta a bomba d'água (responsável pelo abastecimento de água no CPC, coletado na margem direita do rio Javaés). Na Tabela 05 estão presentes os circuitos 1, 2, 3 e 4 com suas particularidades.

Tomando-se por ambientes, fez-se um levantamento das cargas instaladas, que serão apresentadas nos subitens abaixo:

4.2.4.1 Cargas instaladas da área frontal - (vide Tabela 1)

Tabela 1 - Quadro de cargas instaladas no CPC (Térreo)

PREVISÃO DE CARGAS TÉRREO CIRCULAÇÃO						
AMBIENTE	Área (m²)	Perímetro (m)	Iluminação (W)	TUGs (W)	PONTOS ESPECÍFICOS	
			40,00	100	Descrição	Pot. (W)
ÁREA FRONTAL	25,00	25,00	8,00	4	Frazer	250,00
					Bebedouro	200,00
					Tanquinho	300,00
			320,00	400,00		750,00
CARGA INSTALADA TOTAL = 1.470,00 W						
CARGA TOTAL						
ILUMINAÇÃO	TUGS			PONTOS ESPECÍFICOS		
320,00	400,00			750,00		
*Fator de demanda global 70%						
DEMANDA TOTAL					1,03	kVA

4.2.4.2 Cargas instaladas do bloco I - (vide Tabela 2)

Tabela 2 - Quadro de cargas instaladas no bloco I do CPC

PREVISÃO DE CARGAS DO BLOCO I						
AMBIENTE	Área (m²)	Perímetro (m)	Iluminação (W)	TUGs (W)	PONTOS ESPECÍFICOS	
			40,00	100	Descrição	Pot. (W)
ÁREA FRONTAL	25,00	20,00	2,00	1,00	Televisão	95,00
					Receptor	80,00
QUARTO 1	12,00	12,00	1,00	1,00	Ventilador	120,00
QUARTO 2	12,00	12,00	1,00	1,00	xxxx	0,00
QUARTO 3	12,00	12,00	1,00	1,00	xxxx	0,00
QUARTO 4	12,00	12,00	1,00	1,00	xxxx	0,00
QUARTO 5	12,00	12,00	1,00	1,00	xxxx	0,00
COPA	12,00	12,00	1,00	1,00	Bebedouro	300,00
CORREDOR	15,00	16,00	2,00	6,00	Televisão	95,00
					Receptor	80,00
					DVD	
					Ventilador	140,00
			400,00	1.300,00		910,00
CARGA INSTALADA TOTAL = 2.610,00 W						
CARGA TOTAL						
ILUMINAÇÃO (W)	TUGS (W)				PONTOS ESPECÍFICOS (W)	
400,00	1.300,00				910,00	
*Fator de demanda global 70%						
DEMANDA TOTAL					1,83	kVA

4.2.4.3 Cargas instaladas do bloco II - (vide Tabela 3)

Tabela 3 - Quadro de cargas instaladas no Bloco II do CPC

CARGAS INSTALADA DO BLOCO IV						
AMBIENTE	Área (m²)	Perímetro (m)	Iluminação (W)	TUGs (W)	PONTOS ESPECÍFICOS	
			40,00	100	Descrição	Pot. (W)
COZINHA	22,50	22,00	4,00	3,00	Frezer	250,00
					Geladeira	132,00
					Geladeira	80,00
					Liquidificador	213,00
					Microondas	1200,00
					Sanduicheira	1400,00
DEPÓSITO 1	12,00	12,00	1,00	1,00	xxxx	0,00
DEPÓSITO 1	12,00	12,00	1,00	1,00	Frezer	250,00
ESCRITÓRIO	12,00	12,00	3,00	3,00	xxxx	0,00
REFEITÓRIO	20,00	18,00	5,00	3,00	Ventilador	120,00
REFEITÓRIO ÁREA	6,00	10,00	3,00	0,00	-	0,00
SALA DE PESQUISA	12,00	12,00	3,00	5,00	-	0,00
SALA DE VÍDEO	15,00	16,00	2,00	6,00	Televisão	95,00
					Receptor	80,00
					DVD	15,00
					Ventilador	120,00
CIRCULAÇÃO 1	6,00	5,00	0	0	-	0,00
			880,00	2.200,00		3.955,00
CARGA INSTALADA TOTAL =					7035,00	W
CARGA TOTAL						
ILUMINAÇÃO (W)	TUGS (W)			PONTOS ESPECÍFICOS (W)		
880,00	2.200,00			3.955,00		
*Fator de demanda global 70%						
DEMANDA TOTAL					4,92	kVA

4.2.4.4 Cargas instaladas do bloco III - (vide Tabela 4)

Tabela 4 - Quadro de cargas instaladas no bloco III do CPC

PREVISÃO DE CARGAS BLOCO Iii						
AMBIENTE	Área (m²)	Perímetro (m)	Iluminação (W)	TUGs (W)	PONTOS ESPECÍFICOS	
			40,00	100	Descrição	Pot. (W)
QUARTO 1	12,00	12,00	1,00	3,00	-	0,00
QUARTO 2	12,00	14,00	1,00	3,00	-	0,00
BANHEIRO 1	6,00	10,00	2,00	2,00	-	0,00
BANHEIRO 2	6,00	10,00	2,00	2,00	-	0,00
			240,00	1.000,00	-	0,00
CARGA INSTALADA TOTAL = 1.240,00 W						
CARGA TOTAL						
ILUMINAÇÃO (W)	TUGS (W)			PONTOS ESPECÍFICOS(W)		
240,00	1.000,00			0,00		
*Fator de demanda global 70%						
DEMANDA TOTAL					0,87	kVA

4.2.4.5 Cargas instaladas do bloco IV - (vide Tabela 5)

Tabela 5 - Quadro de cargas instaladas no bloco IV do CPC

CARGAS INSTALADA DO BLOCO IV						
AMBIENTE	Área (m²)	Perímetro (m)	Iluminação (W)	TUGs (W)	PONTOS ESPECÍFICOS	
			40,00	100	Descrição	Pot. (W)
QUARTO 1	12,00	12,00	1,00	3,00		0,00
QUARTO 2	12,00	14,00	1,00	3,00		0,00
QUARTO 3	12,00	12,00	1,00	3,00		0,00
QUARTO 4	12,00	14,00	1,00	3,00		0,00
BANHEIRO 1	6,00	10,00	2,00	2,00		0,00
BANHEIRO 2	6,00	10,00	2,00	2,00		0,00
			320,00	1.600,00		0,00
CARGA INSTALADA TOTAL = 1.920,00 W						
CARGA TOTAL						
ILUMINAÇÃO (W)	TUGS (W)			PONTOS ESPECÍFICOS (W)		
320,00	1.600,00			0,00		
*Fator de demanda global 70%						
DEMANDA TOTAL					1,34	kVA

4.2.4.6 Cargas instaladas dos bangalôs do mato - (vide Tabela 6)

Tabela 6 - Quadro de cargas instaladas nos bangalôs do mato do CPC

CARGAS INSTALADAS BANGALÔ III						
AMBIENTE	Área (m²)	Perímetro (m)	Iluminação (W)	TUGs (W)	PONTOS ESPECÍFICOS	
			40,00	100	Descrição	Pot. (W)
BANGALÔ 1 - (Roberto)	20,00	18,00	5,00	2	Geladeira	132,00
					Telvisão	95,00
					Ventilador	120,00
					DVD	80,00
BANGALÔ 2 - (Francisco)	20,00	18,00	2,00	2,00	-	0,00
BANGALÔ 3	20,00	18,00	2,00	2,00	-	0,00
BANGALÔ 4	20,00	18,00	2,00	2,00	-	0,00
BANGALÔ 5	20,00	18,00	2,00	2,00	-	0,00
BANHEIRO	6,00	10,00	1,00	1,00	-	0,00
			560,00	1.100,00	-	427,00
CARGA INSTALADA TOTAL = 2.087,00 W						
CARGA TOTAL						
ILUMINAÇÃO (W)	TUGS (W)				PONTOS ESPECÍFICOS (W)	
560,00	1.100,00				427,00	
*Fator de demanda global 70%						
DEMANDA TOTAL					1,46	kVA

Pelas Tabelas de 1 a 6, considerando um fator de potência de 0,92, a potência total instalada no CPC, foi de 2,08 kVA, para a rede bifásica em 220V.

5 ANÁLISES E CONCLUSÕES

Após o embasamento dado nos capítulos 1, 2, 3 e 4 neste capítulo será feita uma análise da qualidade da energia, o sistema de proteção e das instalações elétricas buscando um melhor entendimento do sistema elétrico do CPC com seus problemas inerentes e sugestões no sentido de proporcionar melhorias.

5.1A Qualidade da Energia Fornecida ao CPC

Neste subitem será feita uma análise do comportamento da tensão, potência e o nível de harmônicas no sistema. Para isso foram realizadas pesquisas

de campo, monitoramento da rede com auxílio de analisador de energia e multímetro para medições de tensões.

5.1.1 Comportamento da Tensão no Sistema Elétrico do CPC

A partir de medições de tensões, em horários distintos, se montou a Tabela 7. As medições realizadas, em formas de amostragem, nos horários de 11h:04min do dia 28/05/2016 e 10h:10min do dia 29/05/2016 correspondem à geração do sistema fotovoltaico e as medições de 17h:10min e 20h:00min, a geração a diesel.

Tabela 7 - Variação da tensão por horário

Local	Data: 28/05/2016 Horário 11:04:00	Data: 28/05/2016 Horário 17:10:00	Data: 28/05/2016 Horário 20:00:00	Data: 29/05/2016 Horário 10:10:00
Acomodação - 2	230Vca	230Vca	230Vca	227Vca
Acomodação - 3	229Vca	219Vca	228Vca	229Vca
Sede CPC	228Vca	225Vca	236Vca	228Vca

Pela Tabela 7, é possível notar variações de tensões em partes distintas pertencente ao mesmo circuito. Entretanto essas variações de tensões estão em conformidade com a Normativa N° 56.414 nos Procedimentos de Distribuição - Prodist de regulação de tensão da ANAEL. Todavia não há subsídios suficientes para convalidar essa afirmação porque não se conseguiu informações precisas da demanda de cada circuito.

Em determinado momento, as variações de tensões podem ser provocadas por perturbações na rede, como, por exemplo, o fator de desequilíbrio, dado por:

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} 100 \quad (5.1)$$

Onde:

FD - Fator de desequilíbrio

V₋ - Magnitude da tensão de sequência negativa (RMS)

V₊ - Magnitude da tensão de sequência positiva (RMS)

$$FD\% = \frac{219}{236} 100 \quad (5.2)$$

$$FD\% = 92,79\%$$

5.1.2 Comportamento das Potências Ativa e Reativa do CPC

A partir de amostragens realizadas com um analisador de energia⁴ entre os dias 15 e 16 de março de 2015 obteve-se os dados apresentados nas Tabelas 8 e 9 referentes às potências ativa e reativa.

⁴Analisador de Energia Digital - ET-5060C - Minipa

Tabela 8 - Amostragens da potência reativa em (Var) realizadas entre os dias 15 e 16/03/2015

Dados coletado da Potencia Reativa													
Horário	P. Reativa	Horário	P. Reativa	Horário	P. Reativa	Horário	P. Reativa	Horário	P. Reativa	Horário	P. Reativa	Horário	P. Reativa
00:01:56	-5,499	07:06:56	-32,994	10:06:56	104,483	11:46:56	104,483	13:26:56	134,728	15:06:56	90,735	18:31:56	137,477
00:51:56	-5,499	07:11:56	-32,994	10:11:56	126,479	11:51:56	120,98	13:31:56	104,483	15:11:56	120,98	18:36:56	134,728
01:56:56	-8,249	07:16:56	-30,245	10:16:56	126,479	11:56:56	98,984	13:36:56	101,733	15:16:56	129,228	19:01:56	134,728
02:01:56	-13,748	07:21:56	-27,495	10:21:56	98,984	12:01:56	93,484	13:41:56	137,477	16:31:56	129,228	19:06:56	142,976
02:06:56	-16,497	07:26:56	-24,746	10:26:56	112,731	12:06:56	123,729	13:46:56	153,974	16:36:56	120,98	19:11:56	142,976
02:21:56	-16,497	07:31:56	-24,746	10:31:56	120,98	12:11:56	96,234	13:51:56	153,974	16:41:56	71,488	19:16:56	145,726
02:26:56	-19,247	07:36:56	-21,996	10:36:56	109,982	12:16:56	96,234	13:56:56	118,23	16:46:56	5,499	19:21:56	145,726
02:56:56	-19,247	07:51:56	-21,996	10:41:56	134,728	12:21:56	126,479	14:01:56	120,98	16:51:56	-16,497	19:26:56	142,976
03:01:56	-21,996	07:56:56	-10,998	10:46:56	30,245	12:26:56	98,984	14:06:56	153,974	17:16:56	-16,497	19:31:56	126,479
03:46:56	-21,996	08:01:56	0	10:51:56	43,993	12:31:56	98,984	14:11:56	120,98	17:21:56	-8,249	19:36:56	104,483
03:51:56	-24,746	09:16:56	0	10:56:56	19,247	12:36:56	123,729	14:16:56	120,98	17:41:56	-8,249	19:41:56	85,236
04:16:56	-24,746	09:21:56	16,497	11:01:56	19,247	12:41:56	112,731	14:21:56	129,228	17:46:56	-13,748	19:46:56	79,737
04:21:56	-27,495	09:26:56	35,744	11:06:56	101,733	12:46:56	104,483	14:26:56	123,729	17:51:56	-8,249	19:51:56	76,987
05:31:56	-27,495	09:31:56	38,494	11:11:56	98,984	12:51:56	118,23	14:31:56	93,484	17:56:56	0	19:56:56	74,238
05:36:56	-30,245	09:36:56	24,746	11:16:56	123,729	12:56:56	123,729	14:36:56	57,74	18:01:56	145,726	20:01:56	71,488
06:06:56	-30,245	09:41:56	96,234	11:21:56	98,984	13:01:56	104,483	14:41:56	57,74	18:06:56	153,974	20:06:56	107,232
06:11:56	-32,994	09:46:56	82,486	11:26:56	120,98	13:06:56	107,232	14:46:56	57,74	18:11:56	153,974	20:11:56	118,23
06:16:56	-30,245	09:51:56	101,733	11:31:56	90,735	13:11:56	131,978	14:51:56	57,74	18:16:56	148,475	20:16:56	115,481
06:56:56	-30,245	09:56:56	129,228	11:36:56	96,234	13:16:56	101,733	14:56:56	79,737	18:21:56	148,475	20:21:56	118,23
07:01:56	-32,994	10:01:56	129,228	11:41:56	123,729	13:21:56	104,483	15:01:56	90,735	18:26:56	140,227	20:26:56	118,23

Tabela 9 - Amostragens da potência ativa em (W) realizadas entre os dias 15 e 16/03/2015

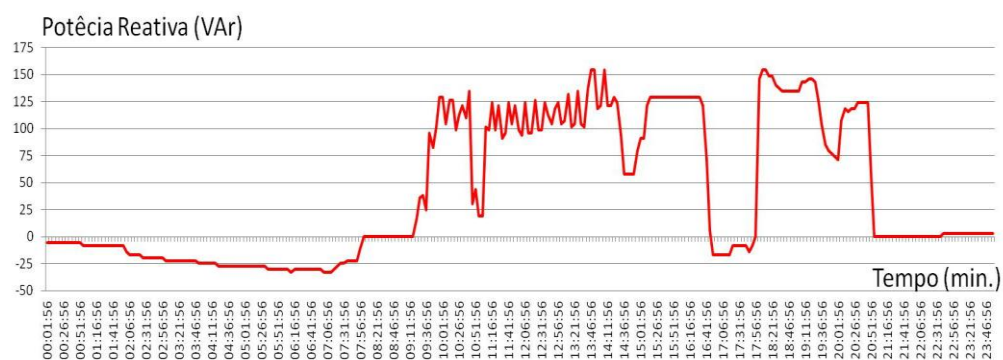
Horário	P. Ativa	Horário	P. Ativa	Horário	P. Ativa	Horário	P. Ativa	Horário	P. Ativa	Horário	P. Ativa	Horário	P. Ativa	Horário	P. Ativa	Horário	P. Ativa
00:01:56	13,748	08:26:56	2,75	10:16:56	225,462	11:56:56	189,718	13:36:56	175,971	15:16:56	217,214	17:41:56	32,994	19:26:56	272,205	22:41:56	0
01:56:56	13,748	08:31:56	0	10:21:56	222,713	12:01:56	184,219	13:41:56	206,216	15:21:56	217,214	17:46:56	57,74	19:31:56	241,96	22:46:56	0
02:01:56	16,497	08:36:56	2,75	10:26:56	230,962	12:06:56	206,216	13:46:56	219,963	15:26:56	217,214	17:51:56	57,74	19:36:56	225,462	22:51:56	2,75
03:01:56	19,247	08:41:56	0	10:31:56	258,457	12:11:56	189,718	13:51:56	219,963	15:31:56	219,963	17:56:56	60,49	19:41:56	296,951	23:11:56	2,75
03:06:56	16,497	08:51:56	0	10:36:56	222,713	12:16:56	184,219	13:56:56	195,217	15:36:56	217,214	18:01:56	195,217	19:46:56	316,197	23:16:56	0
04:11:56	16,497	08:56:56	2,75	10:41:56	236,461	12:21:56	200,717	14:01:56	197,967	16:01:56	217,214	18:06:56	208,965	19:51:56	310,698	23:56:56	0
04:16:56	13,748	09:06:56	2,75	10:46:56	142,976	12:26:56	181,47	14:06:56	214,464	16:06:56	214,464	18:11:56	203,466	19:56:56	302,45		
05:46:56	13,748	09:11:56	0	10:51:56	153,974	12:31:56	178,72	14:11:56	195,217	16:11:56	217,214	18:16:56	192,468	20:01:56	274,954		
06:51:56	10,998	09:16:56	2,75	10:56:56	126,479	12:36:56	200,717	14:16:56	195,217	16:31:56	217,214	18:21:56	189,718	20:06:56	288,702		
06:56:56	10,998	09:21:56	87,985	11:01:56	109,982	12:41:56	208,965	14:21:56	200,717	16:36:56	206,216	18:26:56	214,464	20:11:56	294,201		
07:01:56	19,247	09:26:56	107,232	11:06:56	156,724	12:46:56	197,967	14:26:56	195,217	16:41:56	153,974	18:31:56	230,962	20:16:56	299,7		
07:06:56	21,996	09:31:56	140,227	11:11:56	151,225	12:51:56	206,216	14:31:56	181,47	16:46:56	98,984	18:36:56	228,212	20:21:56	294,201		
07:11:56	21,996	09:36:56	140,227	11:16:56	164,973	12:56:56	208,965	14:36:56	184,219	16:51:56	76,987	18:41:56	236,461	20:26:56	285,952		
07:16:56	13,748	09:41:56	203,466	11:21:56	145,726	13:01:56	195,217	14:41:56	181,47	16:56:56	79,737	18:46:56	247,459	20:31:56	258,457		
07:21:56	5,499	09:46:56	164,973	11:26:56	162,223	13:06:56	197,967	14:46:56	181,47	17:01:56	85,236	18:51:56	250,208	20:36:56	252,958		
07:26:56	0	09:51:56	175,971	11:31:56	145,726	13:11:56	203,466	14:51:56	181,47	17:11:56	82,486	18:56:56	244,709	20:41:56	250,208		
08:06:56	0	09:56:56	200,717	11:36:56	148,475	13:16:56	178,72	14:56:56	203,466	17:16:56	74,238	19:01:56	247,459	20:46:56	250,208		
08:11:56	2,75	10:01:56	197,967	11:41:56	162,223	13:21:56	178,72	15:01:56	217,214	17:21:56	41,243	19:06:56	269,455	20:51:56	90,735		
08:16:56	0	10:06:56	181,47	11:46:56	142,976	13:26:56	200,717	15:06:56	186,969	17:26:56	38,494	19:11:56	277,704	20:56:56	8,249		
08:21:56	2,75	10:11:56	195,217	11:51:56	162,223	13:31:56	175,971	15:11:56	206,216	17:36:56	38,494	19:21:56	277,704	22:36:56	8,249		

A partir das informações obtidas das Tabelas 08 e 09 foram construídos os gráficos mostrados nas Figuras 28 e 29.

Figura 28 – Gráfico da potência ativa das cargas do CPC



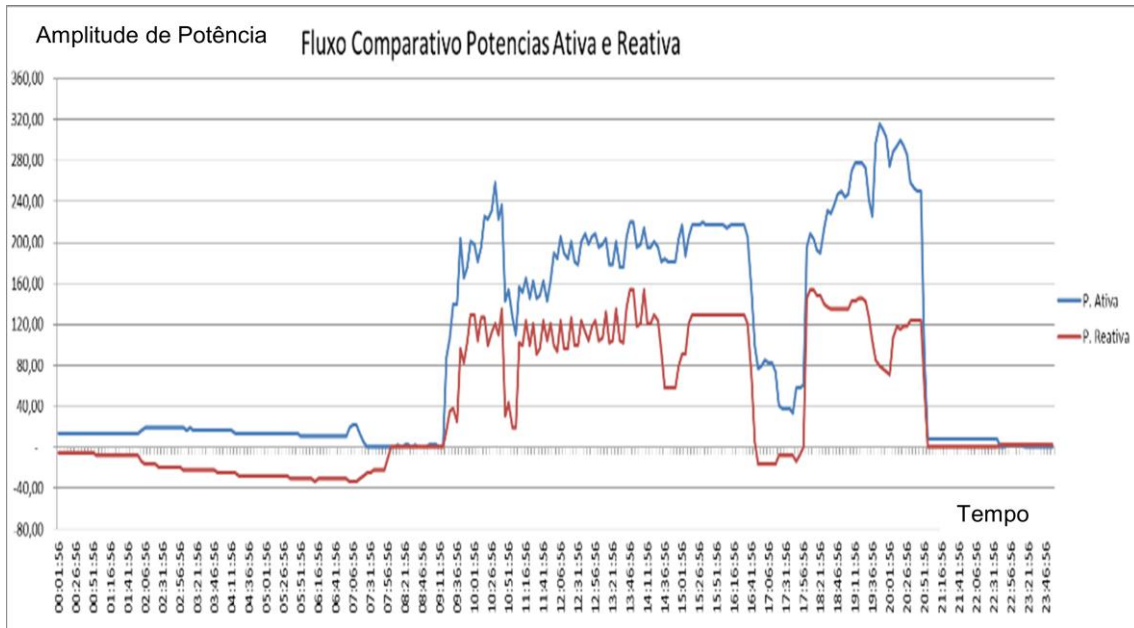
Figura 29 - Gráfico da potência reativa das cargas do CPC



As amostragens entre os horários das 07h:30min às 17h:30min correspondem a geração do sistema fotovoltaica e entre os horários das 17h:20 às 22h:00min, a geração a diesel.

O gráfico da Figura 30 possibilita uma melhor comparação, em termos absolutos, entre as amplitudes das potências ativa e reativa, de onde se pode afirmar que a carga apresenta reativo para a rede sempre inferior à potência ativa.

Figura 30 - Comparação de amplitudes entre as potências ativa e reativa das cargas do CPC



Para o cálculo de fator de potência é utilizada a formula:

$$fp\% = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \cdot 100 \quad (5.3)$$

Onde:

fp - Fator de potência

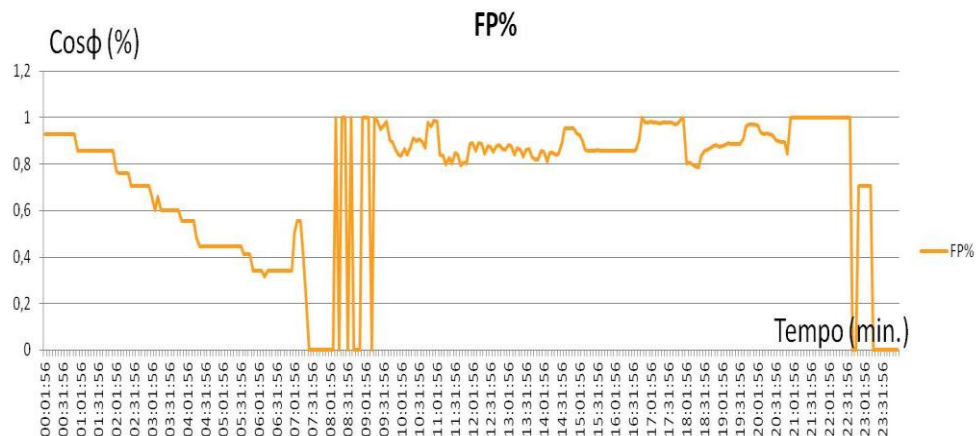
P – Potência ativa

Q – Potência Reativa

Tomando, por exemplo, os valores de potências das 12h:41min ($P=208,965$ W e $Q = 112,731$ Var) e substituindo na equação (5.3) o fator de potência será de: 88%, que corresponde à geração do sistema fotovoltaico. No horário de 20h:21min ($P = 194,201$ W e $Q = 118,23$ Var) o fator de potência será de: 85,4% que corresponde a geração a diesel.

Com base nas potências ativa e reativa das Tabelas 15 e 16, montou-se o gráfico do fator potência instantâneo conforme mostrado na Figura 31.

Figura 31 - Fator de potência das cargas do CPC



Pelo gráfico da Figura 30, para os valores de amostragens realísticas (08h:31min às 22h:30min) percebe-se que o fator de potência está sempre acima de 80%. Por se tratar de um sistema isolado, seria irrelevante comparar esse valor com o critério de fator de potência estabelecido pela ANAAEL, que é de 92%, até mesmo porque a potência das cargas diárias é baixa (menor que 240VA).

5.1.3 Níveis de Harmônicos no Sistema Elétrico do CPC

A taxa de distorção de hamônicos, THD, resume em uma notação muito utilizada para definir a importância do conteúdo harmônico de um sinal alternado que é calculada com base na equação:

$$THD\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} Y_h^2}}{Y_1} \cdot 100 \quad (5.4)$$

Onde:

THD - Taxa de distorção de harmônicos

Y_1 – Frequência fundamental da tensão gerada.

Y_h - Frequência multipla da frequência fundamental

Segundo a norma IEC 61000-2-2, o nível de distorção de hamônicos, THD% deve ser limitado a 50%. A grandeza THD% permite avaliar com ajuda

de um único número a deformação da tensão ou de corrente, por exemplo, em um ponto da rede.

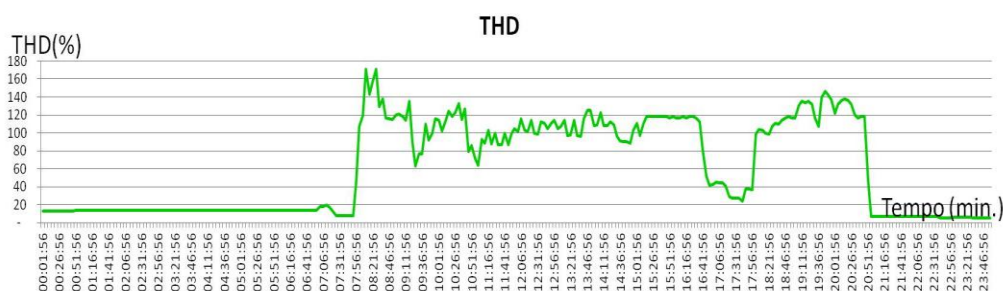
Para o caso específico da rede elétrica do CPC, os dados obtidos pela amostragem feita com analisador de energia são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - THD% amostradas entre os dias 15 e 16/03/2015

THD	HÒRARIO	THD	HÒRARIO	THD	HÒRARIO	THD	HÒRARIO	THD	HÒRARIO
13	00:01:56	121	09:01:56	64	11:01:56	52	16:46:56	122	20:01:56
14	00:51:56	118	09:06:56	93	11:06:56	42	16:51:56	136	20:11:56
18	07:01:56	114	09:11:56	89	11:11:56	43	16:56:56	47	20:51:56
20	07:11:56	135	09:16:56	103	11:16:56	45	17:01:56	7	20:56:56
17	07:16:56	90	09:21:56	88	11:21:56	44	17:06:56	5	22:41:56
12	07:21:56	63	09:26:56	87	11:31:56	41	17:16:56	6	23:01:56
8	07:26:56	77	09:31:56	99	11:51:56	29	17:21:56		
46	07:56:56	110	09:41:56	105	11:56:56	27	17:26:56		
107	08:01:56	92	09:46:56	101	12:01:56	24	17:41:56		
119	08:06:56	100	09:51:56	112	12:36:56	38	17:46:56		
171	08:11:56	102	10:06:56	111	12:41:56	37	17:56:56		
143	08:16:56	113	10:11:56	97	13:16:56	104	18:06:56		
157	08:21:56	124	10:16:56	98	13:21:56	130	19:06:56		
129	08:31:56	123	10:26:56	96	13:36:56	134	19:16:56		
138	08:36:56	133	10:31:56	125	13:46:56	132	19:26:56		
117	08:41:56	127	10:41:56	108	13:56:56	140	19:41:56		
116	08:46:56	79	10:46:56	109	14:01:56	146	19:46:56		
115	08:51:56	86	10:51:56	91	14:36:56	142	19:51:56		
120	08:56:56	72	10:56:56	81	16:41:56	137	19:56:56		

Com base na Tabela 10 montou-se o gráfico mostrado na Figura 32.

Figura 32 - Gráfico de variação da THD% do sistema elétrico do CPC



Apesar da THD mostrada na Figura 32 está bem acima dos valores normativos da IEC 61000-2-2, isto é irrelevante para cargas atualmente presentes no Centro. Todavia, se houver a necessidade de equipamentos eletrônicos de medições, de leituras de sensores remotos, de tráfegos de dados

digitais, etc, será necessário buscar uma solução para viabilizar este tipo de problema.

5.1.4 Confiabilidade do Sistema Elétrico do CPC

A confiabilidade de um sistema elétrico se conceitua com relação a probabilidade de um dispositivo executar uma função definitiva dentro de um período de tempo determinado, tanto na geração como no fornecimento da energia para um usuário.

O que se espera de um fornecimento de energia com eficiência é a garantia de que a expectativa do usuário em relação ao fornecimento possa ser respeitada e visivelmente mensurável em se tratando de desempenho.

No caso específico do sistema de geração fotovoltaica do CPC, por ser a principal fonte de energia elétrica, não se tem garantias de um fornecimento integral de energia elétrica, havendo sempre a necessidade de comutação entre as fontes geradoras, principalmente se ocorrer problemas de insolação durante o dia. E no período noturno o não fornecimento de energia em horários pré-estabelecidos por razão de ordem econômica.

5.1.5 O Sistema de Proteção do CPC

Apesar do sistema de proteção elétrico do CPC se apresentar de forma simplificada, tem atendido seus objetivos, pois não tem sido evidenciadas falhas ou queima de equipamentos condicionados ao sistema de proteção. Contudo na geração a diesel a rede poderia ser melhorada para maior segurança de ações de manobras.

5.2 Conclusão

Com a metodologia proposta e toda pesquisa realizada, o referencial teórico deu embasamento para os objetivos específicos e o objetivo geral deste trabalho. Então o presente trabalho apresentou a eficiência, a capacidade e a qualidade no fornecimento de energia elétrica do Centro de Pesquisa Canguçu

constituído por: geração de energia solar, células a combustível e geração a diesel.

O levantamento das informações sobre a condição do fornecimento de energia elétrica do CPC deu-se através da análise das fontes geradoras como: físico e condicional das fontes de geração, transmissão e na distribuição levando em consideração os equipamentos instalados.

E para fazer as comparações, também foi utilizado varios trabalhos de temas peculiar aos assuntos pesquisados.

No que se refere às fontes geradoras, várias justificativas são possíveis de serem utilizadas para explicar a não adequação dos seus resultados, ainda pode-se verificar o aprimoramento dos resultados calculados, e definir uma precisão para que as limitações sejam melhoradas diante das condições na qual o sistema hibrido do CPC, se encontra.

5.2.1 Concepções Finais do CPC

5.2.1.1 Geração de energia no CPC

Levando em consideração o projeto do sistema hibrido de energia elétrica do CPC, seu propósito de geração de energia elétrica que combinava geração fotovoltaica, células a combustível e baterias não foi alcançado devido a problemas técnicos envolvendo o equipamento eletrolizador.

Atualmente o Centro de Pesquisa Canguçu tem uma geração de energia insuficiente para atender a demanda necessária, isso pode ser justificado pela necessidade da geração com o gerador a diesel.

5.2.1.2 Fonecimento de energia elétrica no CPC

No que se diz respeito a distribuição, não se pode garantir um fornecimento 100% de perfeição, porém todos os materiais que compõem este item foi e está dentro dos confmes previsto na implantação do projeto.

Os equipamentos que constituem a geração hibrida estão gastos ou não são o bastante para se ter uma energia de qualidade, como foi possível demonstrar no capítulo 3.

OS fatores abaixo poderão ser revistos para melhorar as condições no fornecimento de energia:

- O sistema poderia ser controlado por meio de controlador lógico programável (CLP).

- Um equipamento como relé de tempo poderia ser conectado para fazer a transição entre fontes automaticamente.

- Uma utilização mais otimizada de hardware e software para se controlar melhor o sistema

- Providenciar dispositivos adequados de proteção e manobra no Quadro CC.

- O sistema deveria ter maior capacidade de armazenamento para suprimir o CPC pelo menos até as 19hs de cada dia, assim a geração a diesel supriria até a meia noite, deixando assim os usuários mais confortáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALBUQUERQUE, F.L.; SEVERINO, M.M.; OLIVEIRA, M.G.; SHAYANI, R.A; BARBIEIRO, A.: **Sistema Híbrido Fotovoltaico-célula a Combustível: Estudo de caso Centro de pesquisas Canguçu**. XIV Congresso Ibérico e IX Congresso Ibero-americano de Energia Solar, Vigo, Galicia, Espanha, de 17 à 21 de Junho de 2008.
- [2] ALBADÓ, Ricardo. **Qualidade na Energia Elétrica**. São Paulo: Artliber, 2001. p. 15-35.
- [3] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL: **Resolução Normativa ANEEL, nº414**, de 9 de Setembro de 2010.
- [4] BARRETO, E, J, F, **Sistemas Híbrido, Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília 1º Edição, Abril. 2008 Ministério de Minas Energia. cap. 01.
- [5] BITTENCOURT, F, T. **Análise de um Sistema Híbrido Fotovoltaico/Células Combustível (PV/CaC) por simulação computacional**. 2009, 20 - 100 Trabalho de Conclusão de Curso, (Tecnólogo) – Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins, Palmas, 2009.
- [6] CAVALCANTE L.A. **Geografia do Tocantins**. São Paulo Ed. Abril. 2008 cap. 01.
- [7] Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. CCEE, 2016. Disponível em: <https://www.ccee.org.br>> Acesso em: 01/03/2016.
- [8] Imagem de satélite do Google. 20106. Disponível em: <https://maps.google.com.br>. Acesso em: 12/12/2015.
- [9] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE, 2016. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12/03/2016.
- [10] Sua pesquisa. Com. Energia. Disponível em: www.suapesquisa.com/energia. Acesso em: 12/03/2016.
- [11] KLEINBACH, A, HINRICHS, M, ROGER; **Energia e Meio Ambiente**. São Paulo, Ed. Pioneira ThonsomLuarning, 2009, p. 314-318.
- [12] MARTINS, W, R, R.; Ribeiro, W, L **Estudos de Viabilidade Técnica Econômica para Construção de Conexão e uma Rede de Distribuição ao Centro de Pesquisa Canguçu**. 2013, 20 – 100 Trabalho de Conclusão de Curso, (Tecnólogo) – Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins, Palmas, 2013.

- [13] MORÁN, L. A.; DIXON, J. W.; ESPINOZA, J. R.; WALLACE, R. R. **Using Active Power Filters to Improve Power Quality**. Proc. of COBEP 99, 1999, p. 501-511.
- [14] SERPA, L, A.: **Estudo e Implementação de um Sistema Gerador de Energia Empregando Célula a Combustível tipo PEM**. 2004, 11 - 180 Trabalho de Conclusão de Curso, (Mestre) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC 2004.
- [15] SEVERINO, M, M.: **Avaliação Técnico-Econômico de um Sistema Híbrido de Geração Distribuída para Atendimento Comunidades isolada da Amazônia**. **Publicação:** Brasília/DF. PPGENE – 027/08, 2008.
- [16] SILVA, S. B.; ALBUQUERQUE, F. L.; OLIVEIRA, M. A.; SEVERINO, M. M. BARBIERO. **Gestão Energética para o Desenvolvimento Sustentável Centro de Pesquisa Canguçu**. II Jornada Nacional da Produção Científica em Educação Profissional e Tecnológica, São Luiz, 2007.